Die Messung

des

Pulses und des Blutdrucks

am Menschen

von

Dr. L. Waldenburg,
Professor e. o. an der Königl. Friedrich-Wilhelms-Universität, dirigirendem Arzt am
Königl. Charité-Krankenhause in Berlin.

Mit Holzschnitten.

BERLIN, 1880.
Verlag von August Hirschwald.
NW. 68. Unter den Linden 68.

Vorwort.

Die vorliegende Abhandlung ist die Frucht einer mit wenigen Unterbrechungen vier Jahre hindurch fortgesetzten und, ich darf hinzufügen, mühevollen Arbeit. Es ist eine Reihe neuer streng physicalischer Untersuchungsmethoden, welche ich hiermit der Oeffentlichkeit übergebe. Durch dieselben ist es, so hoffe ich, zum ersten Male gelungen, einerseits für alle wesentlichen Eigenschaften des Pulses absolute Masse festzustellen, andererseits den Blutdruck an der unverletzten Arterie des Menschen zu messen und über die wichtigsten Circulationsvorgänge, denen man durch die bisherigen Methoden beizukommen nicht im Stande war, ja die unserer Beurtheilung seither so fern lagen, dass man an die Möglichkeit ihrer objectiven Bestimmung wohl kaum gedacht hat, Licht zu verbreiten. Auch mir selbst schien beim Beginn meiner Arbeit der Gedanke, es könnte die Messung des Blutdrucks durch mein neues Instrument erreicht werden, wie ein fern liegendes pium desiderium; mein nächstes Ziel ging nur auf die Messung des Pulses hinaus, d. h. auf die Messung der Arterienspannung, der Arterienfüllung und der Pulsgrösse. Aber erst dieses Ziel erreicht, entwickelte sich daraus alles übrige als eine Kette an einander sich fügender Consequenzen.

In der folgenden Abhandlung habe ich mich bemüht, die Pulsuhr, welche meinen Messungen gedient hat, und alle mit derselben auszuführenden Untersuchungsmethoden so genau zu beschreiben, dass es einem jeden, der sich dazu die Mühe nimmt,

nicht schwer fallen wird, sich mit der Benutzung des Instrumentes vertraut zu machen. Mögen recht viele Kräfte sich finden, die das begonnene Werk mit Ernst zu fördern bereit sind! Doch möchte ich auch hinzuzufügen nicht unterlassen, dass viel Zeit und ernste Arbeit erforderlich ist, um forschend auf dem neu gebahnten Wege weiter fortzuschreiten, und dass wer diese nicht aufzuwenden vermag, kaum etwas erspriessliches wird erreichen können.

Wenn ich in Rücksicht auf diejenigen, welche die dargelegten Methoden selbst zu prüfen und weiter zu verfolgen geneigt sind, manche Einzelheiten ausführlicher habe erörtern müssen, als den übrigen Lesern dieser Schrift vielleicht angenehm sein dürfte, so hoffe ich bei diesen letzteren in Anbetracht jener Rücksicht Entschuldigung zu finden. Vollkommen befriedigt wäre ich aber nur dann, wenn sie durch diejenigen Theile meiner Abhandlung, welche sowohl die leitenden Gesichtspunkte wie die bereits gewonnenen Ergebnisse enthalten, und welche deshalb für jeden Arzt und Physiologen von allgemeiner Bedeutung sind, für die Mühen der Detail-Studien entschädigt würden.

Berlin, den 3. December 1879.

L. Waldenburg.

Inhalt.

Erste Abtheilung.

Die Messung des Pulses.

Zweite Abtheilung.

Die Messung des Blutdrucks.

Erste Abtheilung.

Die Messung des Pulses.

I. Kritische Bemerkungen über Pulstasten und Pulsschreiben.

Die Untersuchung des Pulses, bis in die neueste Zeit hinein die wichtigste, am eifrigsten gepflegte diagnostische Methode, die einzige fast, welche neben der Inspection und der Palpation der Organe am Krankenbett regelmässig zur Ausführung kam, ist seit der Erfindung und Ausbreitung der sogenannten physicalischen Untersuchungsmethoden unstreitig an Ansehen zurückgegangen und hat an Pflege eingebüsst. Was wollten die alten Aerzte nicht alles aus dem Pulse erkennen, welche feinen Nüancen suchten sie an demselben wahrzunehmen, um darauf praktische Schlüsse aufzubauen! Wie dürr sind dem gegenüber die Urtheile, welche in gegenwärtiger Zeit der Arzt an die Untersuchung des Pulses knüpft, und die Schlussfolgerungen, die er daraus zieht!

Die nachfolgende kurze Betrachtung soll den Rückschritt, welchen die Lehre vom Pulsfühlen seit dem Anfang unseres Jahrhunderts gemacht, nicht etwa zu rechtfertigen, sondern zu erklären versuchen. Mögen immerhin in den Anschauungen der Alten über den Puls mancherlei Spitzfindigkeiten und auch offenbare Unrichtigkeiten enthalten sein, nimmermehr wird man ihre

diesbezüglichen Lehren im ganzen verurtheilen dürfen; denn wir wollen nicht vergessen, dass sie, durch keine anderen Untersuchungsmethoden abgezogen, für die wenigen, welche sie besassen, ihr Urtheil ganz besonders zu verschärfen im Stande sein mussten. Ich zweifle denn auch nicht, dass ein erneutes Studium der älteren Schriften über den Puls, wenn vorurtheilsfrei, mit kritischem Urtheil durchgeführt, zu einem unerwartet werthvollen Resultate führen, und dass eine Prüfung der älteren Erfahrungen an der Hand neuer exacter Untersuchungsmethoden dem Pulstasten zu einem abermaligen bleibenden Aufschwung verhelfen dürfte.

Was in neuester Zeit die Pulsuntersuchung in den Hintergrund drängte, ist allein der Umstand, dass dieselbe nunmehr in Concurrenz trat mit anderen Untersuchungsmethoden, welche ganz oder doch theilweise ein objectives Urtheil gestatten, während das Ergebniss des Pulsfühlens in den meisten Stücken auf subjectiver Schätzung beruht. Nur allein die Pulsfrequenz macht hiervon eine Ausnahme, sie ergiebt ein objectives Resultat, und deshalb ist auch sie allein es, welche an Ansehen und Bedeutung nicht im mindesten verloren hat. Wie steht es aber ihr gegenüber mit der Bestimmung der Spannung und der Füllung des Arterienrohrs und der Grösse des Pulses? Niemand wird leugnen, dass die Bestimmung jedes dieser Momente an Wichtigkeit der der Pulsfrequenz nicht nachsteht, ja in mancher Beziehung diese übertrifft: sind wir doch im Stande, vermittelst derselben directe sichere Schlüsse zu ziehen auf die Kraft, mit der das Herz agirt, auf die Blutfülle, welche im Arteriensystem enthalten, die Blutmenge, welche mit jeder Herzsystole der Arterie neu zuströmt. Aber fragen wir, wie beurtheilen wir diese Momente in praxi? Schon die Terminologie giebt uns darauf Antwort. Wir sagen: der Puls ist sehr hart, hart, mässig hart, ziemlich hart, ziemlich weich, weich, sehr weich und dem entsprechend sehr voll, sehr gross etc. mit den analogen Relationen. Nur für die Extreme wird in den meisten Fällen eine Meinungsverschiedenheit nicht herrschen; im übrigen

werden kaum je zwei Aerzte bei einem Pulse über die Natur desselben sich vollständig vereinigen; was der eine einen harten Puls nennt, wird der andere nur ziemlich hart oder gar nur ziemlich weich finden; was der eine noch als einen ziemlich grossen, giebt der andere schon als einen etwas kleinen aus. Unmöglich kann und wird dies je anders sein, so lange die Abstufungen so vollständig relativ und so ganz und gar nur dem subjectiven Ermessen anheimgegeben sind. Nicht einmal kann man im exacten Sinn, wie oft man es auch in praxi thun mag, von einer Norm oder von einem mittleren Werth der Spannung, Füllung, Grösse des Pulses sprechen; denn wir wissen noch nicht: was ist die Norm im objectiven Sinne? wir können deshalb — ausser wo Extreme vorliegen — auch nicht sagen, was ist über, was ist unter der Norm? was ist über, was ist unter mittlerer Spannung, Füllung, Grösse?

So vollständig allein auf subjective Schätzung bei der Pulsuntersuchung angewiesen, können wir uns bei unseren überall nach Objectivität ringenden Bestrebungen nicht verwundern, dass die Betastung des Pulses mehr und mehr vernachlässigt, und dass ihr Ergebniss — namentlich angesichts der objectiven Resultate der Thermometrie — zurückgesetzt wird. Die Pulsuntersuchung würde auf diesem Wege sicher immer weiterer Missachtung und endlich ihrem Verfall entgegen gehen, wenn es nicht gelänge, sie in ein objectives Fahrwasser zu leiten und exacte Ergebnisse aus derselben zu gewinnen. Umgekehrt muss, so bin ich überzeugt, sobald dieses Ziel erreicht ist, der Puls seiner Dignität nach wieder im Mittelpunkt sämmtlicher Untersuchungsmethoden stehen; denn nur er giebt uns ein Bild von den wichtigsten allgemeinen Vorgängen des Organismus, während die übrigen — die Thermometrie etwa ausgenommen, diese aber auch nur beschränkt auf fieberhafte Krankheiten und Collapszustände — uns nur über einzelne Theile desselben unterrichten.

Ein bedeutsamer Schritt in dieser Richtung vorwärts ist

bereits seit längerer Zeit geschehen durch die Methode der Pulsschreibung, Sphygmographie. Auf die Geschichte derselben will ich hier nicht eingehen; sie ist in dem vortrefflichen Werke von Landois[1]) ausführlich behandelt. Ebenso wenig will ich die einzelnen Methoden hier einer näheren Beleuchtung und Kritik unterwerfen. Auf dem einen oder dem anderen Wege — von Hérisson's, Chelius', Naumann's Pulsmessern, von Vierordt's, Marey's, Longuet's Sphygmographen bis zu Landois' Angiograph und dem neusten verbesserten von Sommerbrodt, von den Pulsphotographien von Czermak bis zu den neusten von Stein und von Winternitz-Ultzmann — verfolgen sie alle das gleiche Ziel, und zwar zunächst nur, die Pulswelle in vergrössertem Massstabe sichtbar zn machen, sodann, als weiteren Fortschritt, sie graphisch darzustellen, um aus der Form dieser Welle einen Schluss zu ziehen auf die Qualität des Pulses und etwaige pathologische Veränderungen daraus zu erkennen.

Der ursprünglich erste Antrieb nach dieser Richtung hin geschah freilich schon in der Absicht, die Höhe des Blutdrucks nicht nur sichtbar zu machen, sondern auch wirklich zu messen; aber nur an Thieren mit freigelegter und geöffneter Schlagader — abgesehen von einem vereinzelten Versuche Faivre's, am Menschen bei Gelegenheit einer Operation den Blutdruck in der Brachialis zu bestimmen — ist dies bisher in exacter Weise ausgeführt worden. Die ersten Anfänge dieser Methode stammen aus der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts, und ihr Begründer Hales[2]) hat uns bereits ziemlich zahlreiche und sehr werthvolle Blutdruckmessungen an verschiedenen grossen Säugethieren hinterlassen. Nach langem Stillstand wurde die

---

[1]) Landois: Die Lehre vom Arterienpuls etc. Berlin 1872. Aug. Hirschwald.

[2]) Stephan Hales: Statick des Geblüts, bestehend in neuen Erfahrungen an lebendigen Thieren, ihres Blutes Bewegung zu erforschen etc. Aus dem Englischen ins Deutsche übersetzt. Halle 1748.

Hämodynamik erst seit etwa fünfzig Jahren wieder Gegenstand der eifrigsten Forschung und ist es bis zum heutigen Tage unter Betheiligung der ausgezeichnetsten Kräfte geblieben. Namentlich durch Poiseuille's Hämodynamometer und ganz besonders durch Ludwig's Kymographion, sowie durch das Federkymographion von Fick erreichte die Methode der Blutdruckbestimmung ihre höchste Vollendung. Ludwig's Kymographion ist seither der Mittelpunkt geworden für die bedeutendsten experimentell physiologischen und pathologischen Arbeiten, und ihm vor allem verdankt auch die experimentelle Pharmacodynamik den ausserordentlichen Aufschwung, den sie in neuerer Zeit — unter Traube's Vorgang — genommen hat.

Gegen die Leistungen des Kymographion steht dasjenige, was durch die Sphygmographie am gesunden und kranken Menschen bisher geschaffen wurde, weit zurück. Haben wir auch bereits vieles durch dieselbe gelernt, so hat sie bisher doch weder am Krankenbett und zwar nicht einmal in den Kliniken, noch als Experimental-Methode — abgesehen von wenigen vereinzelten Anläufen — Boden gewinnen können. Dies ist kein Zufall, sondern in der Methode selbst begründet.

Die Sphygmographie hat vor dem Betasten des Pulses den grossen Fortschritt voraus, dass sie an die Stelle der subjectiven Empfindung objective Pulsbilder setzt. Diese zeigen uns zunächst die Gestalt der Welle, sie haben uns die Dicrotie des normalen Pulses kennen gelehrt und bringen den pathologischen Pulsus dicrotus vortrefflich zur Anschauung, sie demonstriren uns die Schnelligkeit oder Langsamkeit des An- und Absteigens der Welle, sie eröffnen Unregelmässigkeiten, die dem Finger entgehen u. s. w. Wie verhält es sich aber mit den hauptsächlichsten Qualitäten des Pulses, an denen uns am meisten gelegen ist, mit der Spannung des Arterienrohrs, seiner Fülle und der Grösse der Pulswelle?

Auf die Spannung des Pulses können wir zwar — nach den verdienstlichen Arbeiten besonders Landois' — aus den

vom Sphygmographen gezeichneten Pulscurven einen Schluss ziehen: je nach der Grösse und dem Orte der Rückstosselevation, nach den mehr oder weniger hervortretenden Elasticitätselevationen sind wir im Stande zu beurtheilen, ob die Spannung des Pulses gross oder klein ist. Aber wie gross oder wie klein — in absoluten Zahlen ausgedrückt — die Spannung ist, erfahren wir nimmermehr; ja vergleichen wir verschiedene Pulscurven mit einander, bei denen die Spannungsdifferenzen nicht gerade ganz besonders hervorstechend sind, so sind wir überhaupt nicht im Stande zu erkennen, welcher Puls denn eigentlich mehr, welcher weniger gespannt ist. Zudem ist es nicht allein der Puls, welcher die Form der Curve bedingt, sondern sehr wesentlich auch die Grösse der Belastung der Arterie — ganz abgesehen von den Reibungswiderständen beim Schreiben. Derselbe Puls bei verschiedener Belastung giebt verschiedene Bilder. Es ist deshalb als ein grosser Fortschritt anzusehen, dass, wie bereits in dem ersten Sphygmographen Vierordt's, in dem Angiographen von Landois und dem ihm ähnlich construirten von Sommerbrodt[1]) die Belastung normirt werden kann. Die gleiche Belastung entspricht aber keineswegs immer dem gleichen Effect: soll die Belastung in verschiedenen Fällen analog wirken, so muss sie sich richten nach der jeweiligen absoluten Spannung und Füllung des Arterienrohrs, die uns aber nicht bekannt ist. Es fehlt uns demnach ein exacter Massstab der Vergleichung der Pulscurven der verschiedenen Individuen. Wir können aber wenigstens bei einer und derselben Person im grossen und ganzen, zumal bei normirter Belastung, erhebliche Differenzen der Spannung wahrnehmen. Hier dient uns auch das Ansteigen und Absteigen der Pulscurve im Verlaufe eines Experiments bei unverrückter Belastung als Massstab für Zunahme oder Abnahme der Spannung. Wir müssen

---

[1]) Sommerbrodt: Ein neuer Sphygmograph. Breslau 1876. Gosohorsky's Buchhandlung.

hierbei aber mit unseren Schlüssen vorsichtig sein; denn das An- und Absteigen der Curve hängt nicht allein von der Spannung, sondern auch von der Füllung des Arterienrohres ab, und eine vermehrte Füllung macht unter Umständen den Hebel eben so gut und mehr ansteigen wie eine vermehrte Spannung; umgekehrt eine verminderte Füllung ein Absteigen.

Ausser in diesen letzten Aeusserungen, in welchen die Wirkung der Blutfülle sich mit der Arterienspannung zu einem Gesammteffect combinirt, kommt die Arterienfüllung bei der Sphygmographie überhaupt nicht zur Anschauung.

Endlich die Pulsgrösse scheint noch an der sphygmographischen Curve am greifbarsten; man braucht nur die Höhe vom Pulsthal zum Pulsberge zu messen, und weiss man, um wie viel der Schreibhebel die Pulsbewegung vergrössert, so hat man, wie es scheinen könnte, die absolute Höhe der Pulswelle als einfaches Resultat. Dem ist aber keineswegs so. Durch die Belastung der Arterie wird dem Pulse ein Widerstand entgegengesetzt, der ihn nicht zu seiner richtigen Höhe gelangen lässt. Andererseits wird umgekehrt bei den meisten Instrumenten die Pulswelle zu hoch, weil der Hebel über die Höhe, zu welcher ihn die Pulskraft für sich allein führen würde, hinausgeschleudert wird. Aber selbst wo das Instrument in letzterer Beziehung tadelfrei, und wo man auch die Grösse der Belastung kennt, ist man nicht im Stande, die Wirkung der letzteren auf den Puls zu beurtheilen, wenn man nicht ihr Verhältniss zur Arterienspannung kennt. Sodann muss es zur richtigeren Würdigung der Pulsgrösse vornehmlich auch auf das Verhältniss derselben zur Blutfülle der Arterie ankommen, und diese letztere kennen wir nicht.

Fassen wir demnach unser Urtheil über die Sphygmographie in kurzen Worten zusammen, so ist der durch sie gewonnene Fortschritt ein ausserordentlich bedeutender, indem durch sie die Pulsuntersuchung aus einer subjectiven zu einer objectiven Methode geworden ist; aber ihre Ergebnisse sind bisher immer

nur relative geblieben, nirgends giebt sie feste absolute Werthe. Wir sind durch sie aus dem Bereiche der Schätzung noch nicht hinausgekommen, während wir doch als Ziel eine wirkliche Messung anstreben müssen.

Es ist nicht anders möglich, dass dieser Mangel von so manchen Forschern, die sich mit der Sphygmographie beschäftigten, empfunden wurde, und so hat es auch an Versuchen nicht gefehlt, ihm abzuhelfen. Derjenige, der in dieser Beziehung am weitesten kam, war derselbe ausgezeichnete Autor, dem wir überhaupt den ersten Sphygmographen für den menschlichen Puls verdanken — die früheren Instrumente waren ihrem Wesen nach nur Sphygmoscope gewesen; die nur an Thieren anwendbaren Haemodynamometer und Kymographien kommen hier nicht in Betracht — ich meine Vierordt[1]). Dieser entwickelte bereits in sehr klarer Weise die Principien der Pulsmessung und benutzte einen Sphygmographen sowie ein ihm ähnlich construirtes Instrument zur Bestimmung der Pulsspannung, der Pulsgrösse und des Arteriendurchmessers; aber irgendwie brauchbare Resultate zu ergeben, das waren seine Instrumente nicht im Stande, vermochten sie ja selbst nicht einmal in den von ihnen verzeichneten Curven die Dikrotie des normalen Pulses zu demonstriren. Auch Vierordt selbst ist weit entfernt davon, seine Bemühungen anders, als wie erste Versuche nach dieser Richtung hin zu betrachten. Höchst auffallend ist es, dass die in Vierordt's Arbeiten enthaltenen fruchtbaren Keime bei seinen Nachfolgern — es ist jetzt fast ein Vierteljahrhundert seit dem Erscheinen seines Werkes verflossen — so wenig Beachtung fanden[2]). Freilich finden sich an den Sphygmographen verschiedener Autoren,

---

[1]) Vierordt: Die Lehre vom Arterienpuls im gesunden uud kranken Zustande. Braunschweig 1855. Vieweg.

[2]) In guten Lehrbüchern und selbst in speciellen Schriften, die über den Arterienpuls und die Sphygmographie handeln, fand ich Vierordt's Versuche über die Messung des Pulses nicht einmal erwähnt, und so lernte auch ich dieselben erst kennen, als mein Instrument bereits vollendet war, und ich, bevor ich an die Publication meiner Arbeit ging, noch einmal die

die auf den ersten von Vierordt folgten, Vorrichtungen, um den Puls mehr oder weniger zu belasten; es liegt von diesem Schritte aus so nahe, durch Steigerung der Belastung den Puls zusammenzudrücken und die angewandte Kraft zu messen; aber nirgends finde ich diesen Schritt erfolgreich ausgeführt, und die bisherigen Instrumente sind auch zu brauchbaren Messungen in Wirklichkeit nicht eingerichtet.

Seitdem ich selbst die Sphygmographie zur experimentellen Lösung von mich ganz besonders interessirenden Fragen benutzte[1]), reiften in mir mehr und mehr die eben entwickelten Anschauungen über die Unzulänglichkeit der genannten Methode und die Nothwendigkeit, neue Bahnen einzuschlagen.

An die Stelle der Schätzung sollte die Messung treten und dadurch die Pulsuntersuchung einer vollkommenen Exacität zugänglich gemacht werden. Zunächst war es die Spannung der Arterie, deren absoluten Werth zu bestimmen mir ganz besonders wichtig schien. Hierzu kam die zweite, viel leichter zu lösende Aufgabe, die Füllung der Arterie, resp. deren Durchmesser zu messen; endlich drittens, für die Höhe der Pulswelle, d. i. die Grösse des Pulses, den zahlenmässigen Werth zu finden.

Ein Instrument zu construiren, welches diese drei Aufgaben erfüllte, darauf war mein nächstes Streben gerichtet. Kaum wagte ich es anfangs, an die Möglichkeit zu denken, dass auch ein noch höheres Ziel, nämlich die Messung des Blutdrucks an der unversehrten Arterie des Menschen, durch dasselbe Instrument erreichbar sein würde. Auch diese Aufgabe ist, wie ich hoffe, nunmehr gelöst.

---

vorhandene Literatur durchmusterte und auch das Vierordt'sche Werk im Original studirte.

[1]) Waldenburg: Die pneumatische Behandlung der Respirations- und Circulationskrankheiten. Berlin 1875. Hirschwald. Vergl. Seite 286 ff. Wirkung des Valsalva'schen und des Müller'schen Versuchs, der comprimirten und verdünnten Luft auf den Puls.

II. Die Pulsuhr oder das Angiometer.

Zu Anfang des Jahres 1876 hatte ich bereits die Grundzüge festgestellt, nach welchen das neue Instrument, ein wirklicher Pulsmesser — im Gegensatz zu den bisher fälschlich so genannten Pulsmessern, welche den Puls nicht messen, sondern nur in vergrössertem Massstab sichtbar machen oder zeichnen — construirt werden sollte. Die grossen Schwierigkeiten, denen man den Mechanikern gegenüber bei Anfertigung neuer Instrumente, zumal wenn diese eine besondere Subtilität beanspruchen, begegnet, verzögerten die Ausführung in ungeahnter Weise. Endlich, im August desselben Jahres, war das erste brauchbare Modell fertig, an dem ich mich von der Richtigkeit der eingeschlagenen Methode bereits auf's unzweideutigste durch eine Anzahl damit angestellter Experimente überzeugen konnte. Allein das Instrument war, wenn auch nicht im Princip, so doch in Einzelheiten, noch durchaus unvollendet und bedurfte Verbesserungen nach mancherlei Richtungen hin. Ueberhäufung mit anderweitigen Arbeiten liess leider den Mechaniker, welcher das erste Modell angefertigt, die Vollendung verzögern, bis Herr Windler die Ausführung in die Hand nahm und das Instrument fertig stellte.

Am 11. April 1877, nachdem ich bereits zahlreiche Versuche mit dem Instrument angestellt, demonstrirte ich dasselbe in der Berliner medicinischen Gesellschaft[1]. Obgleich es sich schon damals in jeder Beziehung brauchbar erwies und die daran ge-

---

[1]) Die Pulsuhr, ein Instrument zum Messen der Spannung, Füllung und Grösse des menschlichen Pulses. Berl. Klin. Wochenschr. No. 17. und 18. 1877. Später folgte meine zweite Publication über diesen Gegenstand: Pulsuhr und Puls. Berl. Klin. Wochenschr. No. 47. 48. 1878.

knüpften Erwartungen erfüllte, so war ich doch seitdem bis in die neueste Zeit hinein unablässig bemüht, immer mehr daran zu verbessern und zu feilen, bis es mir denjenigen Grad der Vollendung erreicht zu haben schien, um auch den weitgehendsten Anforderungen zu entsprechen. Jetzt endlich glaube ich damit zum Abschluss gelangt zu sein und das Instrument in seiner gegenwärtigen Form den Fachgenossen zur Prüfung und zur Anwendung empfehlen zu können [1]).

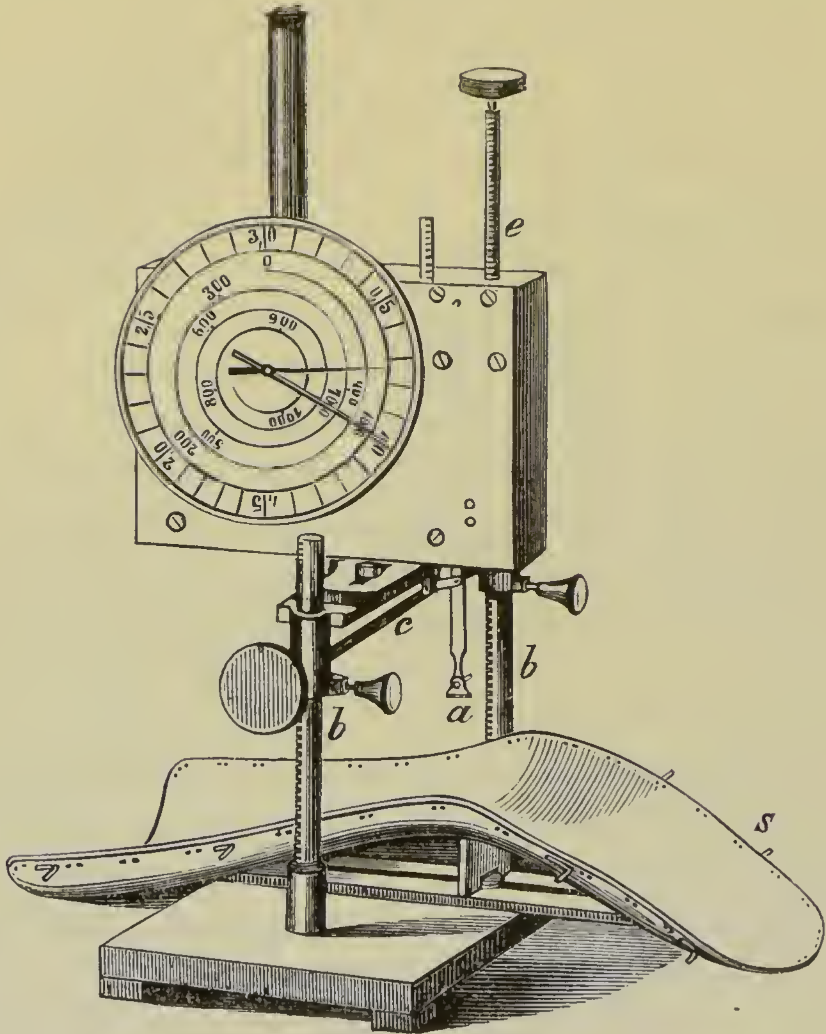
Ich nenne dasselbe Pulsuhr, weil es in seiner äusseren Form sowie in seiner inneren Einrichtung mit einer Uhr viel Aehnlichkeit hat, und weil der sonst wohl zweckmässigste Name „Pulsmesser" oder „Sphygmometer" von anderen Instrumenten, die in Wirklichkeit keine Pulsmesser sind, bereits occupirt ist. Will man noch einen griechischen Namen, so wäre der Ausdruck Angiometer für das Instrument und Angiometrie für die Methode nicht unpassend.

Ich stellte mir bei der Construction der Pulsuhr (Fig. 1) die Aufgabe, auf einer Scheibe zwei äquilibrirte Zeiger laufen zu lassen, von denen der eine, der grössere, sowohl den Durchmesser der Arterie als auch die Bewegungen des Pulses in vergrössertem Massstabe sichtbar machen, der andere die Spannung der Arterie anzeigen solle. Ich bedurfte hierzu einer Vorrichtung, welche die Pelotte, die auf dem Puls zu ruhen bestimmt ist, zunächst vollkommen genau einzustellen gestattet, bevor noch der zur Pulsmessung bestimmte Mechanismus in Wirksamkeit tritt. Zu diesem Zwecke liegt eine der Configuration des Vorderarms und der Hand nachgebildete blecherne Schiene s, nach ihrer Längsrichtung verschiebbar, auf einem Stützbrett. Diese Schiene ist dazu bestimmt, den linken Vorderarm nebst der Hand des zu untersuchenden aufzunehmen, und zwar derart, dass der erstere bis zum Handgelenk in sanft aufsteigender, die

---

[1]) Dasselbe wird vom Instrumentenmacher Herrn Windler, hierselbst, Dorotheenstrasse 3., angefertigt.

Fig. 1.

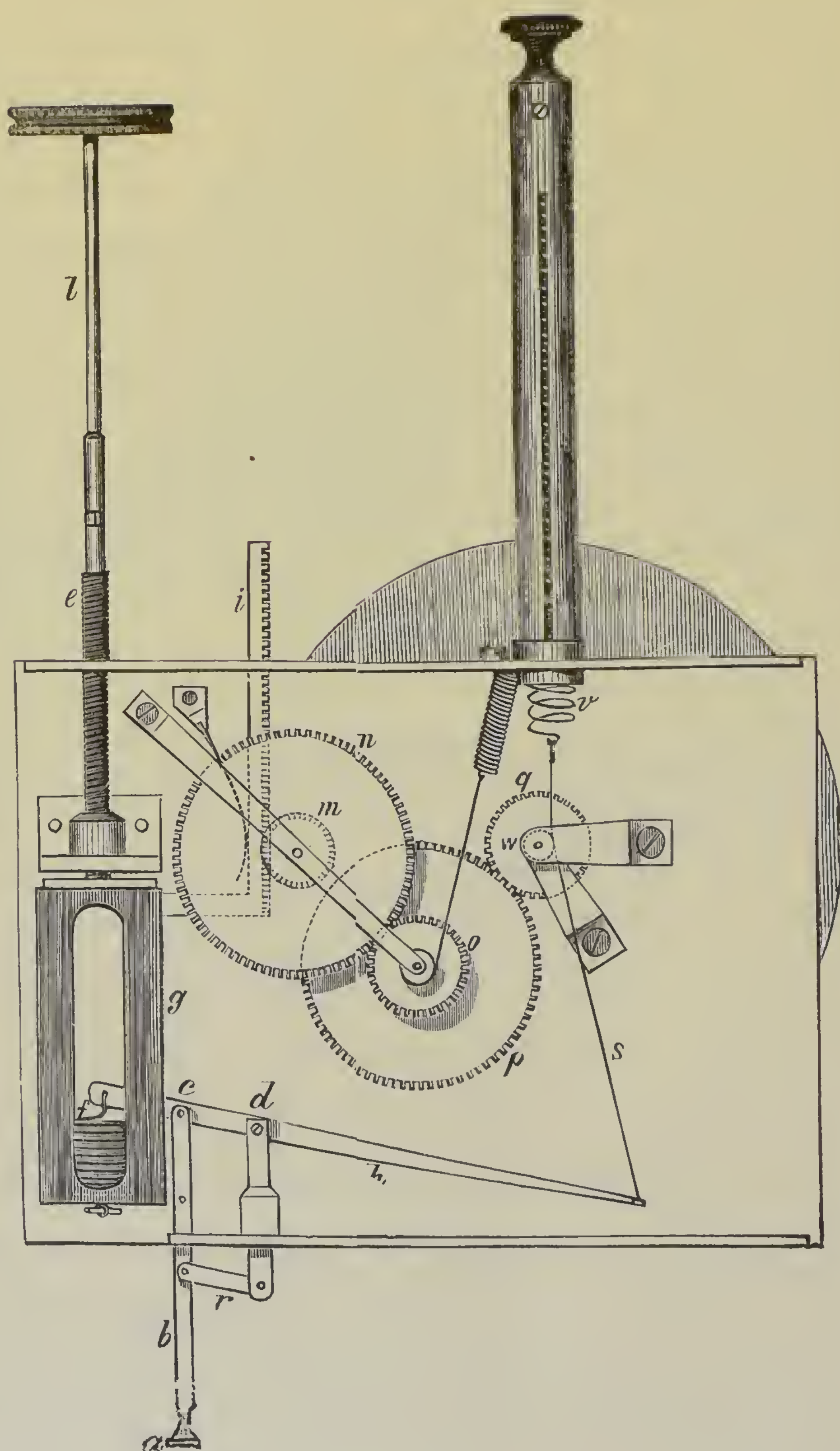


Hand in absteigender Richtung mit ausgestreckten Fingern gelagert wird. Die Schiene hat an ihren Seitenwänden mehrere hervorspringende Stifte, um an ihnen ein Band zum Fixiren des Vorderarms sowohl wie ganz besonders des Daumens und der übrigen Finger herumzuwinden; denn ein unbewegtes Festhalten dieser Gliedmassen ist zur genauen Messung, wie ja auch zur Sphygmographie, durchaus nothwendig. Das Stützbrett hat zu beiden Seiten der Schiene je eine aufrecht stehende Eisenstange b mit Gewinde, und diese beiden Stangen tragen die Pulsuhr derart, dass diese an den Stangen herauf und herunter, also vom

Arme mehr entfernt oder ihm genähert, geschraubt und endlich festgestellt werden kann. Die eiserne Querschiene c zwischen den beiden Seitenstangen, welche das eigentliche Uhrwerk trägt, besitzt ihrerseits auf ihrer Oberfläche gleichfalls eine Triebvorrichtung, durch welche die Uhr in seitlicher Richtung — d. h. von der Radialseite zur Ulnarseite des Armes — verschoben werden kann. Auf diese Weise lässt sich die Pelotte a auf der Radialarterie auf's genauste einstellen und zwar nach allen Richtungen hin: von vorn nach hinten durch die Verschiebbarkeit der Schiene am Stützbrett, von rechts nach links durch die eben genannte Triebvorrichtung, endlich von oben nach unten durch das Gewinde an den Seitenstangen. Ob die letzte Einstellung auf der Haut richtig erfolgt ist, giebt der grosse Zeiger der Pulsuhr an, indem dieser sich nach links zu bewegen anfängt in dem Moment, in welchem die Pelotte die Haut über der Schlagader mehr als berührt.

Was nun den Mechanismus des Uhrwerks selbst betrifft, so beruht er auf folgenden Principien (Fig. 2): Die Pelotte a wird von einem senkrecht nach oben steigenden dünnen Eisenstabe b getragen, welcher sich an einem zweiarmigen Hebel h und zwar in der Mitte seines kürzeren Schenkels c inserirt. Das Hypomochlion d ist selbstverständlich ein unverrückbarer Punkt des nach der stattgehaben Einstellung feststehenden Uhrgehäuses. Das Ende des kürzeren Schenkels ist an dem freien oberen Ende einer Feder befestigt, deren unteres Ende mit dem Federgehäuse g in fester Verbindung steht. Durch eine Schraube e (vergl. auch e in Fig. 1) lässt sich das Gehäuse herunterschrauben. Das obere Ende des Gehäuses ist mit einer gezahnten Triebstange i fest vernietet, die demnach allen ihren Bewegungen gleichmässig folgt. Die Triebstange greift mit ihren Zähnen in die Zähne eines kleinen Rades m ein, welches mit einem grösseren Rade n in der Achse fest verbunden ist, so dass wenn das kleine Rad eine durch die Triebfeder ihm mitgetheilte Bewegung macht, das grosse Rad dieselbe mitmacht; die Peri-

Fig. 2.



pherie des grossen Rades beschreibt aber einen grösseren Weg in dem Verhältniss, wie sein Radius grösser ist als der des kleinen Rades. Die Zähne des grossen Rades greifen nun von neuem ein in die Zähne eines dritten kleinen Rades o, welches seinerseits wieder mit einem vierten grösseren Rade p in der Achse verbunden ist. Hierdurch wird nun der Weg, welchen das Federgehäuse resp. die Triebstange macht, von neuem vervielfältigt. Das vierte grosse Rad greift nun mit seinen Zähnen wiederum in die Zähne eines fünften kleineren Rades q ein, welches seinerseits den kleinen Zeiger der Uhrscheibe in Bewegung setzt. Dieser kleine Zeiger schliesslich zeigt demnach den Weg an, welchen das Federgehäuse in der Richtung von oben nach unten durchlaufen hat, und zwar in dem Massstabe einer 50fachen Vergrösserung.

Nun legt aber das Gehäuse, sobald kein Widerstand an der Pelotte vorhanden ist, einen doppelt so grossen Weg zurück, wie diese selbst, weil der Pelottenträger gerade in der Mitte des kleinen Hebelarms, dessen Ende das Gehäuse trägt, befestigt ist. Der kleine Zeiger giebt also den hundertfachen Weg der Pelotte an — immer vorausgesetzt, dass kein Widerstand der freien Bewegung der Pelotte entgegengesetzt wird, und dass die Federkraft deshalb nicht zur Entfaltung kommt.

An der Peripherie der Scheibe ist die Scala für den kleinen Zeiger eingravirt. Eine Umdrehung ist gleich 300 Mm. und entspricht also genau 3,00 Mm. Pelottenweg.

Da das Federgehäuse eine geradlinige Bewegung macht, welche durch das Räderwerk einfach multiplicirt und in eine Kreisbewegung übertragen wird, so sind auch die vom kleinen Zeiger zurückgelegten Wege genau proportional den Wegen des Gehäuses, resp. der Pelotte, und das Eintheilungsprincip der Scala ist ein durchaus einfaches. Wenn eine ganze Umdrehung des kleinen Zeigers an der Scheibe 3,00 Mm. Pelottenweg entspricht, so ist eine halbe Umdrehung = 1,50 Mm., eine doppelte Umdrehung = 6,00 Mm. u. s. w.

Die Scala für den kleinen Zeiger ist demgemäss an der Peripherie der Scheibe derart ausgeführt, dass der vorspringende Rand der letzteren in 300 gleiche Theile, von denen jeder einem Millimeter entspricht, eingetheilt ist. immer mit der Massgabe, dass der auf der Scheibe verzeichnete Weg in Wirklichkeit hundertmal so gross ist, als der Pelottenweg. Ist also beispielsweise der Zeiger bei 165 angelangt, so entspricht dies einem Pelottenweg von 1,65 Mm.

Nach jeder vollendeten Umdrehung hat man selbstverständlich den Weg der ersten Umdrehung resp. der ersten beiden Umdrehungen u. s. w. zu den eingravirten Zahlen hinzuzuzählen, so dass also die zweite Umdrehung von 300 bis 600, die dritte von 600 bis 900 etc. reicht.

Der längere Hebelarm, welcher $2\frac{1}{2}$ mal so gross als der kürzere, also 5 mal so gross als die Entfernung des Pelottenträgeransatzes vom Hypomochlion ist, hält an seinem Ende eine sehr feine Stahlkette[1]) s, welche über einer Welle w läuft, an der sie befestigt ist, und die ihrerseits diejenige Achse der Scheibe bildet, welche den grossen Zeiger in Bewegung setzt. Eine feine Feder v spannt das auf der Welle aufgewickelte Kettenende nach oben. Die Welle liegt auf der Peripherie desjenigen Kreises, welchen der lange Hebelarm um das Hypomochlion als Centrum beschreibt.

---

[1]) Schon das erste Modell des Instrumentes enthielt eine Stahlkette. Bei der weiteren Ausführung stiess man jedoch auf grosse Schwierigkeiten eine Kette zu finden, welche fein genug war, um sich glatt auf die Welle aufwickeln zu lassen. Es wurde deshalb an die Stelle der Kette ein Seidenfaden angebracht. Die hygroscopischen Eigenschaften des Fadens hielten mir indess immer den Wunsch rege, wieder zur Kette zurückzukehren. Endlich ist es dem Mechaniker gelungen, das Instrument mit einer allen Anforderungen entsprechenden Stahlkette anzufertigen.

Ich stellte auch Versuche an, an Stelle des den Faden oder die Kette tragenden Hebelarms einen gezahnten Rechen anzubringen. Derselbe führte jedoch zu keinem diesem Princip günstigen Resultat; vielmehr hat sich der Vorzug der Kette auf's evidenteste herausgestellt.

Da der lange Hebelarm 5 mal so gross ist als die Entfernung des Hypomochlions vom Pelottenträgeransatz, so beschreibt seine Peripherie, resp. die an ihm befestigte Kette einen 5 mal so grossen Weg als der letztere, also auch als die Pelotte selbst. Die Kette überträgt ihre Bewegung auf die Welle und diese auf den grossen Zeiger, wodurch eine neue Multiplication der ursprünglichen Bewegung statt hat. Die Vergrösserung ist eine hundertfache, und an der Scheibe findet sich die Theilung nach dem hundertfachen Mass des Pelottenweges verzeichnet.

Die Scala für den grossen Zeiger ist auf der Scheibe selber eingravirt und zwar gleichfalls nach Millimetern, derart dass 1 Theilstrich einem Pelottenwege von 0,01 Mm. entspricht. Hier sind aber die einzelnen Theile nicht einander proportional, und deshalb konnte auch keine regelmässige Kreistheilung benutzt werden; vielmehr schreitet die Scala in Form einer Spirale vor.

Die Ursache, weshalb der Zeigerweg und dem entsprechend seine Scala nicht genau proportional dem Pelottenweg und nicht proportional in seinen einzelnen Theilen ist, lässt sich folgendermassen präcisiren. Das Ende des grossen Hebels, welches die Kette trägt, macht beim Hinunter-, resp. beim Hinaufsteigen der Pelotte eine Bewegung, welche genau dem Bogen eines Kreises entspricht, der im Hypomochlion sein Centrum und den langen Hebelarm zum Radius hat[1]). Würde es

[1]) Eine analoge kreisbogenförmige Bewegung wie das Ende des grossen Hebelarms beschreibt auch der Ansatzpunkt des Pelottenträgers. Deshalb macht auch die Pelotte nicht ganz genau eine Bewegung nach abwärts, sondern erleidet dabei auch eine kleine Verschiebung in der Längsrichtung der Arterie. Es musste deshalb dem Pelottenträger ein gewisser Spielraum gelassen werden. Die Verschiebung ist aber eine so geringfügige, dass sie dem prüfenden Auge überhaupt entgeht und sie von der Verschiebbarkeit der Haut mehr als aufgewogen wird. Irgend ein Fehler kann deshalb nicht entstehen. Nur musste dafür gesorgt werden, dass der Pelottenträger von der verticalen Richtung nicht abzuweichen im Stande ist; dies ist durch Herrichtung einer Führung an seiner Basis r vollkommen erreicht.

gelingen, diese Bogenbewegung direct in die Bewegung des grossen Zeigers umzuwandeln, so würde auch dieser eine dem Pelottenweg proportionale Bewegung machen. Nun geschieht aber die Uebertragung der Bewegung des Hebelarms auf den Zeiger erst durch das Mittelglied der Kette. Diese letztere macht jedoch nicht, gleich dem Ende des Hebelarms, an welchem sie befestigt, eine bogenförmige Bewegung, sondern, da sie immer, wenn die Feder v gespannt ist, eine gerade Linie bildet, beschreibt sie einen Weg, welcher der Sehne des vom Ende des Hebelarms gebildeten Bogens entspricht. Da nun die verschiedenen Sehnen eines Kreises nicht den zu ihnen gehörigen Bögen proportional sind, so giebt auch die Uebertragung der Hebelbeweguug vermittelst der Kette auf den grossen Zeiger keine proportionalen Werthe.

Da sich hiernach theoretisch eine Theilung nicht herstellen liess, so musste sie auf empirischem Wege durch genaue Ausmessung des Pelottenweges ausgeführt werden, und dies ist denn auch mit der grössten Sorgfalt geschehen. Erleichtert wird eine solche genaue empirische Theilung dadurch, dass man — sobald die Pelotte ohne Widerstand sich bewegen kann — in der Scala des kleinen Zeigers, welche ja, wie wir gesehen, eine proportionale Theilung darbietet, eine Controle für die Richtigkeit der empirischen Theilung besitzt.

Uebrigens habe ich mich bemüht, die einzelnen Theile des Instrumentes so anzubringen, dass die spiralige Scala für den grossen Zeiger sich der regelmässig kreisförmigen Scala an der Peripherie für den kleinen Zeiger möglichst nahe anschliesst.

Lange mühte ich mich übrigens ab, eine Vorrichtung zu finden, welche die Scala für den grossen Zeiger mit derjenigen für den kleinen identificirt, so dass überhaupt nur eine einzige kreisförmige Scala nöthig würde. Dies ist mir aber nicht gelungen.

Auf der spiraligen Scala zeigt demnach der grosse Zeiger genau an, welchen Weg die Pelotte in der Richtung von oben

nach unten durchlaufen hat. War dieselbe ursprünglich bei der Berührung der Haut über der Radialis auf Null eingestellt, und man dreht an dem der Schraube c aufsitzenden Schlüssel l von links nach rechts, so macht die Pelotte einen Weg nach unten, und der Zeiger giebt — in hundertfacher Multiplication — das Mass dieses Weges an.

Da nun ferner der grosse Zeiger allen Bewegungen der Pelotte nothwendig folgt und sie hundertfach vervielfältigt, so spiegelt er auch die Bewegungen der Pelotte wieder, in welche dieselbe durch die Pulswelle geräth, und zeigt somit die Form und die Grösse der Pulswelle in hundertfacher Multiplication an. Die Höhe der Pulswelle, resp. die Grösse des Pulses lässt sich an der peripherischen Scala ablesen.

Aber nicht sofort wie die Pelotte die Haut über der Radialarterie berührt, markirt sich die Pulswelle in ihrer vollen Grösse. Damit dies geschehe, bedarf es einer gewissen Belastung der Arterie, die durch das Herabdrehen der Pelotte bewirkt wird. Dreht man langsam am Schlüssel, so rückt die Pelotte immer tiefer hinab und übt einen immer stärkeren Druck auf die Arterie aus. Während nun bei der ersten Berührung der Arterienoberfläche der Puls in nur minimaler Grösse — kaum 0,005 Mm., also in hundertfacher Vergrösserung an der Scheibe 0,5 Ausschlag — erscheint, wird er beim allmäligen Weiterdrehen des Schlüssels immer grösser, seine Form zugleich immer ausgeprägter, bis er, an einem gewissen Masse angelangt, dasselbe nicht mehr überschreitet. Das Maximum des Ausschlags, welches die Pulswelle erreicht, entspricht der Grösse des Pulses, die sich demnach an der Scala ablesen lässt. Freilich möchte ich vorläufig nur mit einiger Reserve diese Zahl mit der wirklichen Pulsgrösse völlig identificiren; ich komme später auf diesen Gegenstand noch zurück.

Wenn der Ausschlag des grossen Zeigers seine höchste Ziffer erreicht hat, ist auch die Form der Pulswelle am meisten ausgeprägt: man beobachtet auf's vorzüglichste namentlich

die Dikrotie oder Polykrotie des Pulses und die Höhe, auf welcher die dikrotische Erhebung sich vollzieht. Bei einiger Uebung lernt man auch Abnormitäten in der Celerität des An- und Absteigens der Pulswelle erkennen. Dass auch die Pulsfrequenz gleichzeitig von einen grossen Auditorium abgelesen werden kann, ist selbstverständlich. Sind Irregularitäten des Pulses vorhanden, so kommen sie mit grosser Klarheit zur Erscheinung.

Nachdem der Ausschlag des Pulses seine grösste Höhe erreicht hat, hält er sich beim Weiterdrehen am Schlüssel noch eine kürzere oder längere Strecke auf dieser Höhe. Setzt man das Drehen in gleicher Richtung fort, so fängt endlich der Ausschlag des Pulses an immer kleiner zu werden. Diese Verkleinerung des Pulses wird durch das immer weitere Herabsteigen der Pelotte und die Vermehrung ihres Druckes bewirkt.

Endlich sistirt der Puls ganz: der grosse Zeiger steht entweder vollkommen still, oder zeigt ein nicht mehr rhythmisches Erzittern oder unregelmässige den Athemphasen entsprechende kleine Bewegungen. Wir sind dann bei dem Zeitpunkt angelangt, in welchem die Arterie durch den Druck der Pelotte vollkommen comprimirt ist.

Die Pelotte hat nunmehr einen Weg von oben nach unten zurückgelegt, beginnend mit der Oberfläche der gefüllten Arterie, endend an der Oberfläche der völlig entleerten Arterie. Dieser Weg ist demnach genau gleich dem Durchmesser der gefüllten Arterie. An der spiraligen Scala des grossen Zeigers können wir ablesen, welchen Weg derselbe, resp. die Pelotte in hundertfacher Vergrösserung, durchlaufen hat. Wir messen somit den Durchmesser des Arterienlumens, haben also ein Mass gewonnen für den Umfang und für die Füllung des Arterienrohrs. Die Füllung der Arterien ist, wie wir wissen, eine wechselnde; der Arterienumfang accommodirt sich dem jeweiligen Blutgehalt des Gefässes. Der grosse Zeiger der Pulsuhr giebt uns den Werth an für den jeweiligen Füllungszustand

der Schlagader, indem er den Durchmesser derselben bestimmt. Während der grosse Zeiger uns auf diese Weise die Form und Grösse des Pulses so wie das Mass der Füllung des Arterienrohrs anzeigt, demonstrirt uns der kleine Zeiger die Spannung desselben.

Wir sahen, dass der kleine Zeiger den Weg beschreibt, welchen das Federgehäuse durchläuft. Dieser Weg setzt sich aus zwei Momenten zusammen: Drehen wir den Schraubenschlüssel, während das Instrument ruhig auf dem Tische steht und die Pelotte ohne jeden Widerstand sich bewegen kann, so bewegt sich das Schraubengehäuse immer genau im gleichen Verhältniss zur Pelotte, d. h. stets um doppelt so viel, weil der Weg vom Hypomochlion zur Feder doppelt so gross ist als der zum Pelottenträgeransatz, und der kleine Zeiger giebt dann, wie wir sahen, die hundertfache Vergrösserung des Pelottenweges an der peripherischen Kreistheilung an. Liest man den Weg des kleinen Zeigers an der peripherischen Scala und den des grossen an der spiraligen Scala der Scheibe ab, so sind beide einander gleich. also ihre Differenz null, d. h. ein Federdruck ist überhaupt noch nicht vorhanden. In der That verharrt die Feder in ihrer Ruhelage und kommt überhaupt nicht zur Wirkung, so lange der Bewegung der Pelotte kein Widerstand entgegengesetzt wird.

Tritt dagegen ein solcher Widerstand ein, indem die Pelotte bei ihrem Herunterrücken auf irgend einen Gegenstand aufstösst, so übt dieser je nach seiner Resistenz einen Druck nach oben aus, wodurch die Feder in grösserem oder geringerem Grade, und zwar immer genau entsprechend dem entgegenstehenden Drucke, ausgedehnt wird.

Nehmen wir den extremen Fall an. der Widerstand, gegen den die Pelotte stösst, sei unüberwindlich, so kann, wenn man am Schraubenschlüssel dreht, trotz des angewandten Druckes die Pelotte und mit ihr der Hebel nicht von der Stelle rücken, der grosse Zeiger bleibt demnach auf Null stehen. Obgleich aber

der Hebel unverrückt bleibt, bewegt sich dennoch, dem Druck der Schraube nachgebend, das Federgehäuse nach abwärts, und in dem Masse, als dies geschieht, muss sich die Feder ausdehnen. Der Bewegung des Gehäuses folgend, rückt der kleine Zeiger vorwärts und giebt uns an, um wie viel das letztere sich nach abwärts bewegt, also in dem genannten Falle sich die Feder ausgezogen hat.

Nun entspricht ein bestimmtes Längenmass, um welches eine Feder sich auszieht, immer einem bestimmten Kraftmass, welches sich empirisch feststellen und in Gewicht übersetzen lässt. Bei meinem Instrument habe ich die Feder so wählen lassen, dass wenn bei unbeweglicher Pelotte der kleine Zeiger je 100 Millimeter weit vorrückt, also an der peripherischen Kreistheilung je 100 Mm. angezeigt wird, die Feder genau um so viel ausgezogen ist, dass das dem entsprechende Kraftmass 100 Gramm beträgt. Also 100 Mm. Weg des kleinen Zeigers, zeigt 100 Gramm Federdruck an bei unverrückbarer Pelotte.

Stösst demnach die Pelotte beim Drehen des Schraubenschlüssels auf einen unüberwindlichen Widerstand, so bleibt der Hebel unbewegt, demnach auch der grosse Zeiger auf Null, resp. auf dem Platze, den er bei Eintritt des Widerstandes inne gehabt, fest stehen. Dagegen rückt der kleine Zeiger entsprechend dem durch die Schraubenbewegung ausgeübten Drucke vor, und derselbe zeigt an der peripherischen Theilung an, wie hoch der Druck in Gramm sich beziffert. Hat man beispielsweise so weit gedreht, dass der kleine Zeiger auf 235 steht, während der grosse auf Null geblieben, so zeigt dies an, dass die Feder durch die Schraubendrehung so weit ausgedehnt ist, dass der auf sie ausgeübte Zug 235 Gramm beträgt. Um eben so viel wie die Feder ausgedehnt, ist das Schraubengehäuse heruntergegangen, also der Hebel in seiner Lage unverändert geblieben.

Wir haben hier somit die zwei Extreme beschrieben: er-

stens, wenn die Pelotte ohne jeden Widerstand sich bewegen kann, dann ist der Stand des kleinen Zeigers gleich dem des grossen, ihre Differenz also gleich Null und dem entsprechend auch der auf die Pelotte resp. die Feder ausgeübte Druck ebenfalls gleich Null. Ist dagegen der Widerstand für die Pelotte unüberwindlich, so bleibt der grosse Zeiger unverrückt, und die vom kleinen Zeiger angegebene Zahl entspricht dem vorhandenen Druck.

Ruht nun die Pelotte endlich auf einem nachgiebigen Körper, also z. B. auf der Radialis, so leistet dieser beim Herunterschrauben einen gewissen Widerstand, welchem entgegenzuwirken die Feder sich entsprechend ausdehnen muss. Es wird sich hier sowohl der grosse wie der kleine Zeiger, aber beide nicht mehr einander proportional, bewegen, und zwar wird der grosse Zeiger immer nur den Weg anzeigen, um welchen die Pelotte sich bewegt hat, während die durch den Weg des kleinen Zeigers sich darstellende Bewegung des Schraubengehäuses zwei Wege summirt, nämlich erstens den wirklichen Weg der Pelotte, welchen sie — verdoppelt — mitgemacht hat, sodann den Weg, um welchen die Feder sich ausgezogen hat. Um demnach den letzteren zu messen, muss man den Weg des grossen Zeigers von dem des kleinen subtrahiren. Es ist eine einfache Subtraction der Zahlen von einander deshalb erlaubt, weil sowohl die Scala des grossen wie die des kleinen Zeigers den gleichen Werth als Einheit besitzt, nämlich die hundertfache Multiplication des Pelottenweges in Millimetern.

Nun entspricht der Weg der Feder, d. h. die Länge, um welche dieselbe ausgedehnt wurde, wie wir gesehen, dem vorhandenen Drucke, resp. dem Widerstand, welcher der Pelotte von der Unterlage geleistet wird, oder mit anderen Worten, sobald die Pelotte auf der Arterie aufruht, der Spannung, welche die Arterie dem Herabsteigen der Pelotte entgegensetzt. M a n m i s s t d e m n a c h d e n v o r h a n d e n e n D r u c k, r e s p. d e n W i d e r s t a n d d e r A r t e r i e, i n d e m m a n d e n W e g

des grossen Zeigers von dem des kleinen abzieht, und zwar giebt die Differenz den Druck in Gramm an.

Steht beispielsweise der kleine Zeiger auf 475 Mm., der grosse auf 230 Mm., so ist die Differenz der Wege beider Zeiger = 245 Mm., und der vorhandene Druck beträgt 245 Gramm.

Die volle Spannung der Arterie ist derjenige Widerstand, welchen das Gefäss seiner völligen Compression entgegensetzt. Wir messen deshalb die Arterienspannung derart, dass wir durch Drehen am Schlüssel die Pelotte so weit herabsteigen lassen, dass die Arterie vollständig comprimirt ist. Dass sie dies ist, erkennen wir daran, dass die Pulsbewegungen am grossen Zeiger sistiren. Ist dieser Zeitpunkt erreicht, so ist der aufgewandte Druck gleich dem Widerstand, welchen die Arterie ihrer völligen Compression entgegensetzte, d. h. gleich ihrer Spannung. Ziehen wir nunmehr den Weg, welchen der grosse Zeiger durchlaufen, von dem des kleinen ab, so haben wir das Mass der Arterienspannung in Gramm.

Ein concretes Beispiel wird am besten die dargelegten Verhältnisse illustriren. Es betrifft einen gesunden, sehr kräftigen Studenten der Medicin K. (Messung am 30. December 1877.) Ich übergehe hier gewisse Einzelheiten, die später bei der Methode der Messung genau erörtert werden sollen, und gebe hier nur diejenigen Zahlen, welche die Endergebnisse darstellen und das bereits beschriebene exemplificiren sollen.

Das Instrument wird genau auf Null eingestellt, d. h. so, dass während beide Zeiger auf Null stehen, die Pelotte eben die Haut über der Radialis berührt und ein Drehen am Schlüssel sofort eine geringe Pulsbewegung zur Folge hat. Es wird langsam gedreht und von 100 zu 100 Weg des kleinen Zeigers sowohl der Weg des grossen Zeigers, so wie der Ausschlag desselben abgelesen. Letzterer entspricht der Höhe der Pulswelle, resp. der Grösse des Pulses. Der Weg des grossen Zeigers — auf Hundertstel reducirt — ist gleich dem Durchmesser der Arterie, resp. der Arterienfüllung. Subtrahirt man den Weg

des grossen von dem des kleinen Zeigers — Columne 4 —, so erhält man den vorhandenen Druck in Gramm.

Weg d. kl. Zeigers,	Weg d. gross. Zeigers,	Ausschlag d. gr. Zeigers,	Differenz d. Wege d. kl. u. gr. Zeigers = Druck.
0 Mm.	0 Mm.	0 Mm.	0 Gramm
100 „	85 „	Spur	15 „
200 „	165 „	2 Mm.	35 „
300 „	225 „	5 „	75 „
400 „	310 „	10 „	90 „
500 „	375 „	5 „	125 „
600 „	410 „	1 „	190 „
700 „	450 „	Spur	250 „
800 „	495 „	do.	305 „
900 „	525 „	do.	375 „
980 „	590 „	0	390 „

Betrachten wir diese Tabelle, so sehen wir, dass mit zunehmendem Druck der Ausschlag des Pulses, der anfangs nur minimal ist, allmälig steigt und seine grösste Höhe erreicht, wenn der kleine Zeiger auf 400 angelangt ist. Dieser grösste Ausschlag beträgt 10 Mm.; er ist das Mass für die Grösse des Pulses in 100facher Multiplication. In dem vorliegenden Falle ist demnach die Grösse des Pulses = 0,10 Mm.

Der Druck, welcher auf der Arterie lastete, während der Puls den grössten Ausschlag gab, betrug 400—310 = 90 Grm.

Schraubte man weiter und steigerte hiermit den Druck, so wurde der Ausschlag des Pulses schnell wieder kleiner, bei 500 betrug er nur noch 5 Mm., bei 600 nur 1 Mm. Bei 980 erlosch der Puls ganz, die Arterie war demnach völlig comprimirt.

Beim Erlöschen des Pulses stand der grosse Zeiger auf 590. Die Pelotte hatte demnach von der Oberfläche der gefüllten Arterie bis zu derjenigen der comprimirten Arterie einen Weg von 5,90 Mm. zurückgelegt. Dieser Weg entspricht dem

Durchmesser der Arterie, welcher das Mass der Arterienfüllung ist.

Der Druck, welcher erforderlich war, um die Arterie zu comprimiren, ist gleich der Differenz der Wege des grossen und kleinen Zeigers im Momente der Compression, in unserem Falle also gleich 980 — 590 = 390 Gramm. Dieses Mass ist das Aequivalent für die Spannung der Arterie.

Ich habe der Uebersichtlichkeit halber das obige Beispiel so einfach gewählt, dass die Pelotte genau beim Nullpunkt die Arterienoberfläche zu berühren beginnt. In praxi, werden wir sehen, ist dies durchaus nicht nothwendig. Vielmehr kann die Berührung bei jeder beliebigen Stellung der Zeiger erfolgen. Tritt beispielsweise die Berührung des Pulses erst bei 80 Mm. ein, so bleibt, so lange man von 0 bis 80 dreht, der grosse Zeiger immer dem kleinen correspondirend, d. h. jeder zeigt auf der ihm zugehörigen Scala dieselbe Zahl an, die Differenz beider ist also gleich Null. Erst mit dem Moment, wo die Haut berührt wird, weichen beide Zeiger von einander ab, und die Differenz beider Wege entspricht dem vorhandenen Widerstand. Tritt demnach der erste Pulsausschlag erst bei 80 Mm. auf, und sistirt der Puls bei Compression der Arterie beispielsweise bei 570, so ist der Durchmesser der Arterie nicht gleich 5,70 Mm., sondern gleich 5,70 — 0,80 = 4,90 Mm. Die Berechnung des Druckes erleidet hierdurch keine Verschiebung, da ja die Wege beider Zeiger um 80 zu gross sind und ihre Anfangsdifferenz gleich Null war.

Das Verhältniss wird am besten dadurch klar werden, dass ich das obige Beispiel von neuem zu Grunde lege, aber den Fall setze, dass nicht genau auf Null eingestellt wurde, sondern erst bei 100 der erste leise Pulsschlag erfolgte. Es werden dann die Zahlen der ersten beiden Columnen um 100 vergrössert werden und die Tabelle — abgekürzt — sich folgendermassen darstellen:

Weg d. kl. Zeigers,	Weg d. gross. Zeigers,	Ausschlag d. gr. Zeigers,	Differenz d. Wege d. kl. u. gr. Zeigers = Druck.
0 Mm.	0 Mm.	0 Mm.	0 Gramm
100 „	100 „	Erste Spur d. Puls-	0 „
		ausschlages	10 „
200 „	185 „	Spur	15 „
300 „	265 „	2 Mm.	35 „
400 „	325 „	5 „	75 „
500 „	410 „	10 „	90 „
600 „	475 „	5 „	·125 „
700 „	510 „	1 „	190 „
1080 „	690 „	0 „	390 „

Wir erhalten durch diese Tabelle genau dieselben Werthe wie durch die erste: Pulsgrösse 0,10 Mm. bei einem Druck von 90 Gramm. Arterienspannung = 1080 — 690 = 390 Gramm. Nur ist der Arteriendurchmesser hier nicht = 6,90 Mm., sondern von 6,90 ist diejenige Zahl abzuziehen, bei welcher der erste Pulsausschlag erfolgte, also 100; der Durchmesser ist also = 6,90—1,00 = 5,90 wie in der ursprünglichen Tabelle.

III. Besondere Erfordernisse für die Pulsmessung.

Von grosser Wichtigkeit sind gewisse Einzelheiten an der Pulsuhr, auf die ich näher eingehen muss.

In erster Reihe ist es die Form und Grösse der Pelotte, von welcher die Brauchbarkeit des Instrumentes überhaupt abhängt.

Das Druckmass, welches wir erhalten, ist umgekehrt pro-

portional der Grösse der Gefässfläche, auf welcher der Druck lastet; denn dasselbe Gewicht auf eine gewisse Oberfläche vertheilt, übt auf dieselbe einen um so grösseren Druck aus, je kleiner diese Oberfläche ist. Nun wird der Druck auf die Arterie mittelst der Pelotte ausgeübt; von der Oberfläche dieser letzteren, oder richtiger von dem Flächeninhalt, mit welchem sie auf das Blutgefäss drückt, hängt deshalb das Druckmass ab, welches wir erhalten.

Hieraus folgt zunächst, dass sämmtliche Messungen, wenn sie mit einander direct vergleichbar sein sollen, mit einer Pelotte von dem gleichen Flächeninhalt, oder besser noch mit einer Pelotte von gleicher Form und Grösse, ausgeführt sein müssen.

Ein zweites Erforderniss ist, dass Form und Grösse der Pelotte derart sein müssen, dass dieselbe stets mit ihrer ganzen Oberfläche auf der Arterie aufruht; denn nur wenn dies geschieht, lastet der gesammte Druck auf einer der Pelottenfläche aequivalenten Grösse der Arterienoberfläche.

Die meisten bisherigen Sphygmographen besitzen Pelotten, welche an Breitendimension diejenige der meisten Radialarterien übertreffen; sie drücken also nicht mit ihrer ganzen Oberfläche auf das Blutgefäss, sondern nur in einer Ausdehnung, die dem unbekannten Breitendurchmesser des Gefässes entspricht, also mit einer variablen Kraft. Haben wir beispielsweise unter einer Pelotte von 6 Mm. Breite und a Mm. Länge, bei 100 Gramm Belastung, Arterien von 2 Mm., 3 Mm., 6 Mm. Durchmesser, so drücken diese 100 Gramm ceteris paribus auf eine Gefässoberfläche von 2a, 3a, 6a Q.-Mm.; je kleiner die Oberfläche, auf welche sich dasselbe Gewicht vertheilt, um so grösser ist der Druck, dieser verhält sich demnach in dem genannten Beispiel wie 6 : 3 : 2, d. h. dieselben 100 Gramm Gewicht drücken auf ein Gefäss mit 2 Mm. Durchmesser gerade 3 mal so stark wie auf ein Gefäss mit 6 Mm. Durchmesser. So einfach wie dieses Schema, liegt zwar die Sache in Wirklichkeit nicht: es kommt

noch der Druck hinzu, der durch das Hinüberragen der Pelotte über die Arterienwandung an dem Widerstand der Weichtheile verloren geht; es kommen ferner noch die Dicke der Arterienwandung und andere gewichtige und sehr schwierige Momente hinzu, welche ich mir zu erforschen zur Aufgabe gemacht, und auf die ich bei Gelegenheit zurückkommen werde. Genug, so viel geht aus der bisherigen Deduction hervor: das erste Erforderniss, um bei gleicher Belastung unter allen Umständen auch mit gleichem Druck zu messen, ist, dass die Pelotte so klein, namentlich so schmal sei, dass sie auch stets auf der Arterie in ihrer ganzen Ausdehnung Platz findet.

Welches die beste Form und Grösse der Pelotte sei, dies festzustellen, erschien von der allergrössten Bedeutung. Es waren die mühevollsten und zeitraubendsten Untersuchungen, die ich anzustellen hatte, und die mich lange Zeit beschäftigten, um auf empirischem und experimentellem Wege zum Ziele zu gelangen.

So viel stand von vorn herein fest, dass die Pelotte möglichst schmal sein müsse, damit sie unter allen Umständen oder wenigstens in der grössten Zahl der zur Untersuchung kommenden Fälle auf der Oberfläche der Arterie Platz finde, dieselbe nicht überrage. Da die Pulsuhr zugleich den Durchmesser des Gefässes misst, so haben wir zugleich den Vorzug, dass sich in jedem einzelnen Falle feststellen lässt, ob diese Vorbedingung auch zutrifft, und sind auf diese Weise vor Fehlern gesichert, oder können, wie wir später sehen werden, Correcturen für dieselbe in Anwendung bringen.

Ferner muss die Pelotte eine Form haben derart, dass ihr grösster Flächendurchschnitt stets voll zur Druckwirkung kommt. Dieses Moment hat namentlich Einfluss auf die Wahl des Höhendurchmessers der Pelotte: der grösste Flächendurchschnitt muss möglichst nahe der auf der Arterie aufruhenden Pelottenoberfläche liegen.

Sodann ist, was ganz besonders wichtig, darauf zu achten,

dass die Pelotte nach Grösse und Form empfindlich auf den Puls reagirt, einen möglichst hohen Ausschlag desselben angiebt und andererseits wieder das Stillstehen des Pulses, so wie derselbe zusammengedrückt, am sichersten nachweist.

Endlich darf die Pelotte auf der Haut nicht einschneiden und Schmerz erregen.

Ich benutzte zur Prüfung Pelotten von 3 Mm. Breite und $6^2/_3$ Mm. Länge, 2 Mm. Breite und 5 Mm. Länge, 1 Mm. Breite und 5 Mm. Länge, theils mit ebener Oberfläche und scharfen Rändern, theils mit abgerundeten Kanten, theils ellipsoid; ferner versuchte ich kugelförmige Pelotten von 1 Mm., 2 Mm., 3 Mm. Durchmesser. Ich will hier nur das Endresultat der zahlreichen Versuchsreihen, die ich nicht allein an menschlichen Pulsen, sondern auch an elastischen, mit Wasser oder Quecksilber gefüllten, unter verschiedenem Druck stehenden Schläuchen ausführte, mittheilen. Die nähere Begründung dieser sowohl wie der späteren in Frage kommenden Ergebnisse muss ich mir ersparen, da die Details den Leser allzusehr ermüden dürften.

Sämmtlichen Anforderungen entspricht am besten eine ellipsoidähnliche Pelotte von 2 Mm. Breiten- und 5 Mm. Längendurchmesser, und beziehen sich alle Resultate, welche ich hier mittheilen werde, auf Versuche, die mit dieser Pelotte ausgeführt sind. Es wäre wünschenswerth, dass diese Pelotte auch anderen Beobachtern so lange als Norm diene, bis vielleicht festgestellt wird, dass eine andere Form oder andere Grössendimensionen mehr Vorzüge darbieten.

Die Pelotte ist derart geformt, dass sie ebenso hoch wie breit, nämlich = 2 Mm., ist, und dass ihr grösster Flächendurchschnitt in der Mitte der Höhe sich von einem Rechteck von 5 Mm. Länge und 2 Mm. Breite nur durch ein unbedeutendes Abgeschliffensein der Spitzen unterscheidet. Bis zu diesem mittleren Durchmesser ist die Oberfläche, ähnlich einem Ellipsoid, abgerundet.

Da das Abschleifen der Spitzen des Rechtecks — dies ist

geschehen, damit die Pelotte auf der Haut nicht einschneide — nur einen höchst winzigen Verlust an Flächendurchmesser ergiebt, der für unsere Zwecke wohl vernachlässigt werden darf[1]), so kann man das Mass für den Flächendurchschnitt der Pelotte auf 10 Q.-Mm. feststellen.

Die genannte Pelotte hat folgende Vorzüge: Zunächst passt ihr Mass sehr gut in's Decimalsystem, und Berechnungen werden dadurch erleichtert. Sodann ist die Pelotte schmal genug, um auf den weitaus meisten Pulsen Platz zu finden; denn nur wenige Radiales haben einen geringeren Durchmesser als 2 Mm., und wo dies der Fall, wird es ja durch die Messung festgestellt, und die Druckberechnung ist hiernach zu corrigiren. Die Pelotte lässt sich ferner bequem auf dem Pulse einstellen, sie ergiebt einen vortrefflichen Ausschlag und steht verhältnissmässig prompt still, sowie der Puls zusammengedrückt ist. In diesem letzten Punkte unterscheidet sie sich besonders vortheilhaft von den kugeligen Pelotten. Endlich wegen ihrer abgerundeten Oberfläche verursacht sie auf der Haut kein Einschneiden und auch sonst keinen besonders lästigen Druck.

Ich wende mich nunmehr zu einem zweiten Punkte, welcher nicht das Instrument, sondern vielmehr die Methode der Angiometrie selbst berührt.

Bei der Messung des Arteriendurchmessers wirkt nämlich ein Moment sehr störend, das ist die Zusammendrückbarkeit der Weichtheile ober- und unterhalb der Arterie. Bei der Radialis sind die Weichtheile glücklicherweise nur in geringem Umfang vorhanden, aber sie würden dennoch, namentlich bei fetten Personen, das Endresultat beeinträchtigen, wenn sich nicht Mittel hätten finden lassen, die dadurch hervorgerufenen Fehlerquellen zu beseitigen. Der Fehler tritt nämlich folgendermassen ein: Man misst jeden Durchmesser der Arterie

---

[1]) Der Längendurchmesser, um eine kleine, kaum messbare Spur verlängert, dürfte übrigens diesen Ausfall leicht decken.

dadurch, dass man den Weg bestimmt, welchen die Pelotte von oben nach unten zu durchlaufen hat, bis die Arterie comprimirt ist. Befinden sich nun zwischen Haut und Arterie zusammendrückbare Weichtheile, so wird der von der Pelotte zurückgelegte Weg um so viel vergrössert, als die Weichtheile durch die Pelotte zusammengedrückt sind. Ferner werden die unter der Arterie liegenden Weichtheile gleichfalls zusammengedrückt und das Gefäss gewinnt dadurch einen tieferen Stand. Um so viel nun die Weichtheile comprimirt sind und die Arterie herabgedrängt ist, gerade so viel mehr Weg zeigt die Pelotte an, d. h. um so viel erscheint der Arteriendurchmesser zu gross.

Dieser Fehler lässt sich nun, wie ich gefunden, auf die bequemste und einfachste Weise eliminiren. Dies geschieht vornehmlich durch Berücksichtigung des Umstandes, dass die Weichtheile eine viel geringere Elasticität als die Arterienwand besitzen. Uebt man nämlich auf eine kleine Hautstelle einen mässig starken Druck aus und lässt denselben eine oder einige Minuten lang wirken, so bleibt nach dem Aufhören des Drucks noch ein Eindruck auf der Haut bestehen. Dieselbe ist nicht elastisch genug, um in ihre normale Lage sofort wieder zurückzukehren, und ausserdem ist der Druck in den kleinsten Arterien auch nicht gross genug, um die Capillaren der comprimirten Haut und der unter ihr liegenden Weichtheile sofort wieder mit Blut zu füllen und sie zu ihrer normalen Turgescenz zurückzuführen.

Diesen Umstand benutzte ich anfangs in folgender Weise: Ich legte nämlich jedes Mal, bevor ich zur Pulsmessung schritt, ein Korkstück auf die Haut über der Radialis und umschnürte auf wenige Minuten — bei vollsaftigen, fetten Personen länger als bei mageren — die Handgelenkgegend mittelst eines festen Schnürbands ziemlich kräftig, aber nicht so stark, dass dadurch eine schmerzhafte Empfindung entstand. Entfernt man dann die Umschnürung, so ist die Haut über der Radialis eingedrückt, und nimmt man nun schnell die Untersuchung mit der

Pulsuhr vor, so entsteht sofort bei der Berührung der Pelotte mit der Haut ein deutlicher Puls, während ohne diesen Kunstgriff die Pulsbewegung erst nach etwa 0,3—1,5 Weg oder selbst noch später zum Vorschein kommt. Um so viel also werden die Haut oder die Weichtheile überhaupt zusammengedrückt. Diese haben, nachdem sie zusammengedrückt sind, nur eine minimale Expansionskraft, bleiben dann auch nach Aufhören der Umschnürung noch einige Zeit in ihrer Compressionslage, wie der lange nachher fortbestehende Hauteindruck zeigt, und üben demnach nur einen sehr geringen Widerstand auf die Feder aus. Ein weiterer Rest der Weichtheile, wahrscheinlich unterhalb der Arterie gelegen, wird noch durch den Druck der Feder, wenn ihre stärkste Compression zur Wirkung kommt, nachträglich zusammengedrückt; auch dieser lässt sich messen. Dreht man nämlich, nachdem man den Puls zusammengedrückt, die Schraube wieder zurück, so kommt der Puls wieder zum Vorschein, wird immer grösser, nimmt sodann wieder an Grösse ab und verschwindet endlich eine gewisse Strecke, etwa 0,3—1,5 und selbst mehr, bevor die Zeiger ihren ursprünglichen Nullpunkt erreicht haben. Um diese Strecke also sitzt die Pulsoberfläche jetzt tiefer als zu Anfang des Versuchs, um so viel ist die Arterie also nach unten gedrückt, und so viel muss demnach von dem Gesammtergebinss abgezogen werden.

Später überzeugte ich mich, dass eine Compression der Haut vor dem Beginn der Messung vollkommen überflüssig ist, und dass der Druck der Pelotte für sich allein hinreicht, um die in Rede stehende Fehlerquelle zu eliminiren.

Ich lasse nämlich am Ende der Messung die Pelotte eine oder mehrere Minuten lang — je nachdem mehr oder weniger Fettpolster unter der Haut vorhanden, bei ganz mageren Personen ist dies Verfahren überhaupt völlig entbehrlich — auf der Arterie aufruhen und drehe dann möglichst schnell zurück, bis der Puls, der beim Zurückdrehen selbstverständlich wieder auftritt, von neuem verschwindet. Diesen Punkt, bei welchem der

Puls beim Zurückdrehen sistirt, rechne ich für den Nullpunkt. Ich bestimme demnach den Durchmesser der Arterie nicht bei der Vorwärtsbewegung, sondern bei der Rückwärtsbewegung der Zeiger. Bei der letzteren sind die Weichtheile bereits comprimirt und bleiben es, bei möglichst schnellem Zurückdrehen, bis zur Beendigung des Versuchs. Der Durchmesser, um welchen sich die Dicke der Weichtheile vermindert hat, kommt also hierbei nicht mehr in Betracht: der Fehler, der durch ihn entsteht, ist ausgeschaltet. Der Eindruck, den die Pelotte auf der Haut gemacht, bleibt oft noch viele Minuten nach Beendigung der Messung bestehen.

Den Rückweg der Zeiger benutze ich übrigens nur für die Bestimmung des Arteriendurchmessers, resp. der Arterienfüllung. Die Grösse des Pulses messe ich nach wie vor bei der Vorwärtsdrehung der Zeiger, bei der man langsam von 50 zu 50 oder von 100 zu 100 vorschreitet. Beim schnellen Zurückdrehen erhält man übrigens häufig nicht den gleichen Werth für die Pulsgrösse wie beim Vorwärtsdrehen, und zwar bald einen höheren, bald einen geringeren. Dies hängt von der Beschaffenheit der Arterienwandung ab, welche durch die Compression entweder so erschlafft ist, dass sie dem Blutandrang mehr nachgiebt und eine höhere Welle erzeugt, oder welche noch nicht Zeit gewonnen, zu ihrer vollen Entfaltung zu gelangen und deshalb kleinere Pulse zeigt.

Das Druckmass wird derart bestimmt, dass man von dem gewonnenen Enddruck einen beim Zurückdrehen und endlichen Sistiren des Pulses noch etwa vorhandenen Anfangsdruck abzieht. Dieser Anfangsdruck umfasst in sich den Druck, welchen die comprimirten Weichtheile ausüben, sowie etwaige im Instrumente selber gelegene kleine Abweichungen von der Norm, d. h. Abweichungen im Stande beider Zeiger zu einander bei mangelndem Druck.

IV. Einwendungen gegen die Pulsuhr.

Seit meiner ersten Veröffentlichung über die Pulsuhr ist mir eine kritische Beachtung derselben meines Wissens nur von einer einzigen Seite zu Theil geworden und zwar von Lépine[1]). Von deutschen Autoren scheint, nach den sehr spärlichen und äusserst mangelhaften Referaten zu urtheilen, die darüber erschienen, dem Gegenstand bisher überhaupt keine Aufmerksamkeit geschenkt worden zu sein. Da ich wohl annehmen kann, dass die Wichtigkeit einer Methode, die den Puls zu messen lehrt, von Physiologen und Pathologen kaum verkannt werden dürfte, so suche ich den Grund hierfür vielmehr in meiner eigenen, etwas lückenhaften Beschreibung des Instrumentes und seiner anfänglichen Unfertigkeit einerseits, sowie ganz besonders in dem Umstand, dass man erst Resultate abwarten wollte, ehe man dem Gegenstand sein Interesse gewährte.

Herrn Lépine bin ich nicht nur für die Aufmerksamkeit, die er auf das Studium meiner Arbeit verwandte, sondern auch ganz besonders für die Kritik, die er ihr zu Theil werden liess, dankbar. Ich freue mich, dass er es offen ausgesprochen, welche Ausstände er an dem Instrumente zu machen hat; denn sachgemässe kritische Urtheile tragen viel zur Klärung der Sachlage bei.

Zunächst gebe ich zu, dass das Instrument verhältnissmässig complicirt ist. Trotz aller Mühe, die ich mir gab, ist es mir indess nicht gelungen, es zu vereinfachen, wenn ich nicht wesentliche Vorzüge aufgeben wollte. Gelingt es einem anderen, ein Instrument herzustellen, das wesentlich einfacher ist und dennoch dasselbe leistet, um so besser! denn nicht auf die Construction des Instrumentes, sondern auf das Princip, welches durch dasselbe sich Geltung verschaffen soll, kommt es vor-

[1]) Revue mensuelle de méd. et de chir. Paris 1877. pag. 624.

nehmlich an. Indess möchte ich doch nach den Erfahrungen, die ich selbst gemacht, mir die Bemerkung erlauben, dass es vorläufig lohnender sein dürfte, mit den vorhandenen Hülfsmitteln weiter zu forschen und Resultate zu sammeln, als Zeit und Mühe auf die Modification meines Instrumentes oder die Erfindung eines neuen zu verwenden [1]).

Ein zweiter Einwand bezieht sich auf die zu starke Reibung, die in Folge des Räderwerkes an der Pulsuhr entstehen soll. Dazu bemerke ich, dass das Räderwerk nur an demjenigen Theile des Instrumentes angebracht ist, welcher die Spannung misst, und hier ist die zur Geltung kommende äussere Kraft, die sich ja meist auf mehrere hundert Gramm beziffert, eine so grosse, dass der geringe durch die Reibung gesetzte Verlust dagegen nicht in Betracht kommt. Wo in der That Reibung zu vermeiden ist, nämlich an demjenigen Hebelarm resp. Zeiger, welcher den Pulsbewegungen zu folgen hat und deshalb seine volle Empfindlichkeit bewahren muss, da ist kein Rad eingeschaltet und die Reibung thatsächlich auf ein minimum reducirt.

Als ein dritter Mangel wird es bezeichnet, dass mein Instrument die Pulsbewegungen nicht nach Art der Kymographien oder Sphygmographen aufschreibt. Hierauf könnte ich einfach

---

[1]) Wege giebt es sehr viele, um ein Princip, wenn es einmal gefunden, zur Ausführung zu bringen. Ich könnte eine ganze Reihe derselben angeben, auf welchen dasselbe, was die Pulsuhr bezweckt, zu erreichen wäre. Welcher von den verschiedenen Wegen aber der beste, ist schwieriger zu entscheiden. Ich selbst war seit lange damit beschäftigt, ein einfaches, compendiöses und wohlfeiles Instrument von anderer Construction als die Pulsuhr für den Gebrauch des practischen Arztes herzustellen; allein dem Ziele fast nahe, hatte ich immer wieder mit neuen Schwierigkeiten, die freilich mehr in der Ausführung als im Princip lagen, zu kämpfen, so dass die Arbeit jetzt, halb vollendet, ruht. Vielleicht nehme ich sie später wieder auf. Bemerken möchte ich aber, dass wenn das neue Instrument in Wirklichkeit so ausfällt, wie ich es mir theoretisch construirt, es zwar die genannten Vorzüge vor der Pulsuhr voraus haben, aber dafür an Exactität der Leistung für wissenschaftliche Untersuchungen doch höchst wahrscheinlich gegen dieselbe zurückstehen wird.

bemerken, dass die Pulsuhr kein Sphygmograph, sondern ein Pulsmesser sein soll, und dass für die Construction eines neuen Sphygmographen durchaus kein Bedürfniss vorliegt. Zudem habe ich gleich in meiner ersten Arbeit ausdrücklich bemerkt, dass ich mir noch vorbehalte, eine Schreibvorrichtung, die beliebig mit der Pulsuhr in Verbindung gebracht und, wenn man sie nicht mehr braucht, wieder abgenommen werden könnte, anzubringen.

Mein Plan war ungefähr folgender. Ich wollte an das Ende des grossen Zeigers, senkrecht zu demselben einen sehr leichten Schreibstift, wie er bei der Sphygmo- und Kymographie üblich ist, anbringen und auf einer Trommel oder Platte nach bekanntem Vorbild schreiben lassen. Ich habe diesen Plan zwar noch nicht ganz aufgegeben, habe ihn aber bisher nicht zur Ausführung gebracht, weil ich es vorzog, zunächst meinen eigentlichen Zweck, die Pulsmessung, in möglichster Vollkommenheit zu erreichen; die Pulsschreibung war ein Abweichen vom Ziel und deshalb unterliess ich sie.

Ausserdem darf ich nicht unterlassen hervorzuheben, dass mit dem Anfügen einer Schreibvorrichtung das Instrument an Exactität verliert. Mag die Schreibvorrichtung so leicht und so fein wie irgend möglich ersonnen sein, immer wird durch die Belastung des Zeigers und durch die Reibung beim Schreiben das Instrument aufhören so exact zu functioniren, wie es ohne jene Vorrichtung geschieht. Begnügt man sich, die Zahlen am Instrument abzulesen, so ist man sicher, dass diese Zahlen exact sind, und man kann sich aus denselben auf einer mit Abscissen und Ordinaten versehenen Tafel eine Figur construiren, welche in den Hauptsachen der Wirklichkeit entspricht. Lässt man dagegen das Instrument selbst schreiben, so weicht die geschriebene Figur, der vorhandenen Reibung und anderer Widerstände wegen, von dem wahren Werth ab. Endlich fürchtete ich auch, bei der Subtilität des Instrumentes, dasselbe könnte durch häufiges Anhängen und Abnehmen der Schreibvorrichtung für seinen Hauptzweck geschädigt werden.

Alle diese Mängel würden fortfallen, wenn man, anstatt eine Schreibvorrichtung anzubringen, die Zeigerbewegung photographirte — eine freilich etwas unbequeme Methode.

Zuletzt kommt noch ein vierter und zwar principieller Einwand, den, wie Lépine hinzufügt, Marey allen bisherigen Versuchen der Druckmessung mit Recht entgegengesetzt hat. Die Versuche waren unfruchtbar, „denn die Wirkung, welche das Blut gegen die Feder des Instruments ausübt, ist nicht allein von der Intensität des Druckes, welcher das Blut im Innern des Gefässes unterworfen ist, abhängig, sondern steht auch in Beziehung zur Ausdehnung der Gefässwand, auf welche dieser Blutdruck wirkt, d. h. zu der Dicke des untersuchten Gefässes.“ „„Wenn ein Aneurysma — sagt Marey — einem Gegendruck von mehreren Kilogramm Widerstand leistet, während 100 Grm. ausreichen, um die Radialarterie des den Tumor tragenden Individuums zu unterdrücken, soll dies besagen, dass der Blutdruck im aneurysmatischen Sack grösser ist als im Gefäss?““

Diese Bemerkungen sind durchaus richtig. Sie beziehen sich aber nur auf Fehler, welche andere Autoren gemacht haben, und welche gerade zu vermeiden ich gleich von vornherein bemüht gewesen bin.

Dass der Blutdruck mit der Gefässspannung identificirt wird, ist ein Fehler, der leider häufig begangen wird. Dieser Fehler sowohl wie überhaupt die Irrthümer, die über diesen Gegenstand verbreitet sind, rühren daher, dass über das Wesen der Gefässspannung und ihr Verhältniss zum Blutdruck bisher überhaupt noch keine Untersuchungen vorliegen. Ich hoffe, dass durch meine im Verlauf der vorliegenden Arbeit mitzutheilenden Experimente und Beobachtungen endlich das Verhältniss des Blutdrucks zur Gefässspannung klar gelegt werden wird.

Was ich mittelst der Pulsuhr zu messen beabsichtigte, war ursprünglich nur die Gefässspannung, nicht der Blutdruck. Auch diesen letzteren messen zu können, dahin bin ich erst später

gelangt. Um nun ein relatives Mass der Gefässspannung zu erhalten, dazu ist — mag das Gefäss dünn oder dick, mag es die normale Radialis oder ein Aneurysma sein — nichts anderes nothwendig, als dass man den Widerstand misst, den ein Gefässabschnitt von bekannter Grösse einem bekannten Druck entgegensetzt. Dieses relative Spannungsmass, dass sich bei allen zu untersuchenden Objecten immer auf den gleichen Flächenraum bezieht, ist es, was uns bei allen Messungen zunächst interessirt, und was die Vergleichung zwischen den verschiedenen Untersuchungen an den verschiedensten Individuen möglich macht. Will man ausser diesem, auf eine bestimmte Oberfläche, die Einheit, sich beziehenden Mass noch das absolute Gesammtmass der Spannung eines ganzen Arterienabschnitts wissen, so braucht man nur den Flächenraum der Wandung desselben aus dem mittelst der Pulsuhr sich ergebenden Durchmesser der Arterie zu berechnen und die Zahl der Einheiten (bei unserer Pelotte 10 Qu.-Mm.), welche dieser Flächenraum einnimmt, mit dem gewonnenen Druckmass zu multipliciren. Auf diese Weise erhält man das Gesammtmass der Spannung eines bestimmten Arterienstücks, eines Aneurysma u. s. w. Diese Berechnung ist also möglich, wenn man das zu Grunde liegende Einheitsmass kennt, welches die Pulsuhr zu messen bestimmt ist. Später werde ich zeigen, in welcher Weise dieses mit der Pulsuhr gewonnene Mass in Barometerdruck umgewandelt werden kann.

Damit wir aber ein richtiges Einheitsmass erhalten, dazu ist, wie ich gleich in meiner ersten Arbeit ausführte, und wie ich im vorigen Kapitel eingehend erörterte, vor allen Dingen nothwendig, dass die Pelotte von derartiger Form und Grösse sei, dass sie stets mit ihrer ganzen Fläche auf der Arterie aufruhe. Dies war bei den meisten früheren Sphygmographen und auch bei dem Marey'schen Sphygmograph nicht der Fall. Bei dem letzteren überragt die auf dem Pulse ruhende Feder grösstentheils den Durchmesser der Arterie. Ich verweise nochmals ausdrücklich auf das vorige Kapitel, in welchem ich die

Abhängigkeit des Drucks von der Grösse der Pelotte ausführlich darlegte.

Marey's und Lépine's principieller Einwand ist demnach durchaus gerechtfertigt, soweit er sich auf die bisherigen und Marey's eigenen Sphygmographen bezieht, auf meine Pulsuhr dagegen passt er nicht im mindesten; denn von vornherein war ich darauf bedacht, jeden Fehler nach dieser Richtung hin auszuschliessen.

Bei dieser Gelegenheit möchte ich eines Instrumentes von Jones erwähnen, auf das mich Herr College Schliep, nach meiner ersten Demonstration der Pulsuhr, aufmerksam gemacht hat, und das er so freundlich war, mir zur Prüfung einzusenden. Das Instrument nennt sich — mit Unrecht — Sphygmometer.

Ich füge die Beschreibung dieses Instrumentes hier an, weil dieselbe eine gute Illustration giebt, wie es gerade durch die Grösse und Form seiner Pelotte als durchaus unbrauchbar sich erweist.

Das Jones'sche Sphygmometer besteht aus einer Feder, welche sich in einer cylindrischen Hülse von ca. 15 Mm. Durchmesser und ca. 12 Ctm. Länge befindet; mitten durch die Feder geht ein Stab, welcher die Hülse nach unten und oben durchbohrt, an seinem untersten Ende eine ovale Pelotte von 13 Mm. Länge und 8 Mm. Breite trägt und, wo er unten in die Hülse eintritt, eine vorspringende Leiste besitzt, die beim Hinaufschieben die Feder nach oben drückt und sie, da sie aus der Hülse nicht heraus kann, comprimirt. Eine Scala von 50 zu 50 bis 800 giebt an, um wieviel die Feder zusammengedrückt ist. Das Instrument wird mit der Pelotte auf den Puls aufgesetzt und ein Druck auf denselben ausgeübt, wodurch die Feder entsprechend comprimirt wird. Peripherisch von der Pelotte ruht gleichzeitig der Finger tastend auf dem Pulse, und so wie der Druck so weit gesteigert ist, dass der Finger den Puls nicht mehr fühlt, nimmt man an, dass der Puls comprimirt ist und liest den Druck an der Scala ab.

Dieses Instrument besitzt den Vorzug der primitivsten Ein-

fachheit; nur Schade, dass es absolut werthlos ist. Ganz abgesehen davon, dass eine genaue Einstellung mit der Hand überhaupt unmöglich ist, dass ferner dem tastenden Finger die Abschätzung des verschwindenden Pulses überlassen bleibt, besitzt es den oben berührten principiellen Fehler der zu grossen Pelotte, und dieser Fehler lässt sich nicht etwa dadurch repariren, dass man die Dimensionen derselben verkleinert, denn würde man dies versuchen, so könnte das Instrument überhaupt nicht mehr functioniren: die Pelotte muss ja so breit sein, damit sie den Puls für den gleichzeitig tastenden Finger auf's vollständigste unterdrückt, sie muss also das Gefäss an Breite überragen. Folglich sind die groben Fehler vorhanden, die ich im vorigen Kapitel auseinandersetzte, und wenn das Instrument bei dem einen 200 Gramm, bei dem anderen 500 Gramm anzeigt, so können unter Umständen jene 200 Gramm einen höheren Druckwerth repräsentiren als bei diesem die 500 Gramm. Im übrigen fand ich das sogenannte Sphygmometer bei practischen Versuchen so mangelhaft, dass es nur bei relativ schwachem Pulse gelang, denselben zu unterdrücken, für kräftige Pulse war es überhaupt nicht ausreichend. Indess diese Mängel liessen sich ja beseitigen, ständen nicht jene theoretischen Bedenken dem Grundprincipe dieses Instrumentes überhaupt entgegen.

V. Die Methode der Pulsmessung.

Von der allergrössesten Wichtigkeit ist es, eine präcise Methode festzustellen, nach welcher die Pulsmessung mittelst der Pulsuhr auszuführen ist. Auch das beste Instrument bleibt nutzlos oder giebt falsche Resultate, wenn die Methode, nach welcher es angewendet wird, ungenügend oder fehlerhaft ist. Ich habe deshalb meine ganze Aufmerksamkeit darauf gerichtet,

die Untersuchungsmethode möglichst zu vervollkommnen. Es gelang mir denn auch fast bei jeder neuen Versuchsreihe, die ich anstellte, immer weitere Verbesserungen herauszufinden. Dennoch glaube ich mich noch keineswegs am Ziel; vielmehr hoffe ich, dass es mir und anderen möglich sein wird, die neue Methode einer noch grösseren Vollkommenheit zuzuführen. Indess bin ich doch vorläufig bereits zu einem befriedigenden Abschluss gelangt und darf die Methode, wie ich sie gegenwärtig übe, als richtige Resultate ergebend durchaus empfehlen.

Das Verfahren, welches ich anzuwenden pflege, ist folgendes:

Zunächst zeichne ich mit einem schwarzen Stifte[1]) diejenige Hautstelle, an welcher die Radialis am besten zu fühlen ist, und auf welcher die Pelotte zu ruhen bestimmt ist. Sodann setzt sich die zu untersuchende Person in eine bequeme Stellung, welche sie während der ganzen Dauer der Untersuchung festzuhalten hat, an die Ecke eines Tisches, auf welcher die Pulsuhr steht, und legt den linken Arm in die Schiene derselben. Arm und Hand müssen fest, nicht hohl aufruhen; der Ellbogen wird, wo nothwendig, durch einen Sandsack gestützt. Sodann werden durch ein Band, welches an den Vorsprüngen der Schiene mehrfach herumgeschlungen wird, Arm, Hand und Finger fixirt.

Nun wird das Instrument durch die seitlichen Stellschrauben so weit nach unten bewegt, dass die Pelotte etwa 3 bis 5 Mm. von der Haut entfernt ist, darauf wird es durch Vor- oder Rückwärtsschieben der Schiene und durch Drehen der der Seitenbewegung vorstehenden Schraube, in seiner Längs- und Seitenrichtung so eingestellt, dass die Pelotte genau über der angezeichneten Hautstelle sich befindet. Man verzichte aber auf eine genaue Einstellung der Berührung am Nullpunkt, weil dies sehr

---

[1]) Will man vergleichende Versuche an demselben Individuum zu verschiedenen Zeiten, z. B. vor und nach einem Bade, um die Wirkung desselben auf die Circulation zu studiren, ausführen, so dürfte es sich empfehlen, die Hautstelle durch Argent. nitr. anzuzeichnen, damit jedesmal genau dieselbe Stelle gemessen werde.

viel Zeit raubt und keinerlei Vortheile hat; beginne vielmehr das Drehen am Schlüssel, wenn die Berührung zwar nahe bevorstehend, aber noch keine vollständige ist: man schafft sich dadurch einen beliebigen anderen Nullpunkt, der sich im Verlaufe des Versuches, wie wir sehen werden, von selbst ergiebt.

Bevor man den Schlüssel in Bewegung setzt, also die eigentliche Messung beginnt, brauche man den Kunstgriff, an der grossen Schraube, welche die Uhr nach unten bewegt, nachdem die Berührung der Pelotte mit der Haut bereits erfolgt ist, weiter zu drehen; man überzeugt sich hierdurch sehr schnell, ob die Pelotte richtig auf der Arterie eingestellt ist, und wird später beim Messen nicht, mit grossen Zeitverlusten, enttäuscht. Ist nämlich die Pelotte richtig eingestellt, so beginnen sofort, nachdem man die Schraube über die Berührung hinaus gedreht hat, am grossen Zeiger ausgiebige Pulsbewegungen, die der Grösse des Pulses entsprechen; hat man schlecht eingestellt, so bleiben die Pulsbewegungen aus oder sind nicht ausgiebig genug, und man muss von neuem richtig einstellen, bis man den grösstmöglichen Ausschlag erhält. Durch Uebung und Erfahrung wird diese vorläufige Abschätzung bald erlernt.

Hat man sich auf diese Weise von der richtigen Einstellung der Pelotte überzeugt, so dreht man die Schraube wieder so weit zurück, dass die Zeiger auf Null stehen, und dass noch keine vollkommene Berührung der Pelotte mit der Haut statthat, diese vielmehr von jener etwa 1 Mm., oder auch etwas mehr oder weniger — nicht zu viel, weil so viel wie dieser Abstand beträgt, von der Scala verloren geht — absteht.

Nunmehr beginnt die eigentliche Messung. Man drehe am Schlüssel, so dass beide Zeiger vorwärts rücken, und notire den Stand des kleinen Zeigers von 100 zu 100, oder besser von 50 zu 50 und den dazu gehörigen mittleren Stand des grossen Zeigers; die Differenz beider giebt den jedesmal vorhandenen Druck in Gramm an. Nachdem die Pelotte die Haut berührt,

beginnen die Ausschläge des Pulses am grossen Zeiger — in 100facher Vergrösserung — sichtbar zu werden, und man notire jedesmal neben dem Stand des grossen und kleinen Zeigers und der Differenz beider die Grösse des Pulsausschlages.

Bei fortgesetztem Drehen am Schlüssel wird der Pulsausschlag immer grösser, bis er endlich sein Maximum erreicht, das man neben dem zugehörigen Stand beider Zeiger notirt. Bei zunehmendem Druck wird das Maximum noch mehr oder weniger lange festgehalten, bis endlich, wenn noch weiter am Schlüssel gedreht, also der Druck weiter gesteigert wird, eine Verkleinerung des Ausschlags eintritt.

Während der Puls sein Maximum erreicht, bis zu dem Zeitpunkt, wo er an Grösse abzunehmen beginnt, muss langsam gedreht werden, damit die letzte Zahl, bei welcher noch das Maximum der Pulsgrösse vorhanden ist — denn auf diese Zahl kommt es, wie wir sehen werden, zur Bestimmung der Pulskraft an — notirt werden könne.

Beim Weiterdrehen erscheint sodann der Puls immer kleiner und kleiner, bis er endlich bei einem bestimmten Drucke verschwindet. Auch hier werden die Zahlen notirt.

Hierbei muss ich bemerken, dass man sich über das Ende des Versuchs täuschen kann, wenn man noch gewisse kleine Zitterbewegungen am grossen Zeiger wahrnimmt. Man schraubt dann die Feder resp. den kleinen Zeiger über das nöthige Mass hinaus, während der grosse Zeiger schon still steht oder nur noch minimal vorrückt. Es ist dann sehr einfach, den richtigen Stand kennen zu lernen. Nachdem man über das Ziel hinausgeschraubt hat, dreht man wieder zurück; es folgt dann der kleine Zeiger der Rückwärtsdrehung, der grosse bleibt fest an seiner Stelle, bis er, an einem gewissen Punkte des kleinen Zeigers angelangt, gleichfalls die Rückwärtsbewegungen mitzumachen beginnt. Hier sind wir an dem Punkte, den wir für unsere Berechnung brauchen. Der Weg, welchen der kleine Zeiger zuvor über diesen Punkt hinaus zurückgelegt hatte, war über

das beabsichtigte Ziel hinausgegangen und darf nicht mit in Anrechnung gesetzt werden.

Dieses Hinausdrehen über das Ziel thut übrigens dem Versuch nicht nur keinen Eintrag, sondern erhöht sogar die Zuverlässigkeit desselben, indem der dadurch bewirkte Ueberdruck dazu dient, die Weichtheile ober- und unterhalb der Radialarterie zu comprimiren. Deshalb mache ich es mir zur Regel, stets ein wenig über das Ziel hinauszuschrauben und dann wieder sehr langsam zurückzudrehen.

Hat man beim langsamen Zurückdrehen den Punkt gefunden, an welchem der unterdrückte Puls wieder aufzutreten beginnt, so notirt man die betreffenden Zahlen, welche der grosse und kleine Zeiger an ihren respectiven Scalen anzeigen.

Hier ist es nun vortheilhaft, das Instrument eine oder einige Minuten, und zwar bei fetten Personen längere, bei mageren kürzere Zeit, ruhen zu lassen, damit der volle Ueberdruck möglichst lange auf den Weichtheilen laste. Es wird durch diesen Kunstgriff dasselbe in viel besserer Weise erzielt, was ich bei meinen früheren Experimenten, wie oben mitgetheilt, durch eine der Messung vorangehende Compression der Weichtheile bezweckte.

Gewöhnlich rückt der grosse Zeiger unter dem vorhandenen Drucke, auch ohne dass weiter gedreht wird — auch wenn der Kranke keine Bewegungen macht — allmälig noch mehrere Theilstriche vor, ohne dass Pulsation vorhanden; indem der vorhandene Ueberdruck die Compression der Weichtheile allmälig mehr und mehr steigert, resp. die Pelotte tiefer in die Weichtheile einsenkt. Ich muss hier bemerken, dass ich das gleiche Phänomen auch bei Experimenten an elastischen Schläuchen beobachtete; es ist also unabhängig von Bewegungen des Kranken und von der Blutbewegung, womit selbstverständlich nicht geleugnet werden soll, dass auch durch diese am Zeiger Bewegungen entstehen können und namentlich bei unruhigen Patienten ganz gewöhnlich entstehen.

Nachdem nun die Pelotte eine oder mehrere Minuten still gestanden, dreht man ziemlich schnell, ohne wieder Zahlen zu notiren, den Schlüssel zurück. Der Pulsausschlag erscheint wieder, anfangs klein, allmälig immer grösser werdend.

Ich drehe während dieses Actes deshalb ziemlich schnell, ohne durch Notirungen Zeit zu verlieren, zurück, damit die Compression der Weichtheile nicht während dessen rückgängig und dadurch das Resultat getrübt werde; aber auch nicht allzu schnell darf dies geschehen, da meist einige Zeit verstreicht, bis die Arterie sich von der Compression erholt hat.

Nachdem die Pulswelle ihr Maximum erreicht und einige Zeit innegehalten, wird sie wieder kleiner und kleiner. Nun dreht man etwas langsamer, um den Punkt zu finden, bei dem der Puls vollständig sistirt. Diesen Punkt notirt man, es ist der Nullpunkt für unseren Versuch.

Hiermit ist die Messung beendet, wenn man nicht noch die viel schwierigere Blutdruck-Bestimmung anfügen will, auf die ich später besonders zurückkommen werde.

Die Blutfülle, resp. den Arteriendurchmesser findet man, indem man von dem Stand des grossen Zeigers in dem Moment, in welchem beim Zurückdrehen er die erste Pulswelle zu zeigen begann, denjenigen Stand desselben Zeigers abzieht, zur Zeit als bei Beendigung des Versuchs (am Nullpunkt) seine Pulsationen sistirten.

Die Pulsgrösse oder Pulswellenhöhe wird durch das Maximum des Ausschlags repräsentirt, welches der grosse Zeiger aufwies.

Die Arterienspannung endlich erhält man, indem man die Zahl des grossen Zeigers von der des kleinen abzieht, und zwar diejenigen Zahlen, welche unmittelbar nach der völligen Compression des Pulses bei dessen erstem Wiedererscheinen notirt wurden. Besteht ausserdem beim Zurückdrehen der Zeiger auf den Nullpunkt, d. h. auf denjenigen Punkt, bei welchem der wieder aufgetretene Puls von neuem verschwindet, da die Pelotte die Arterienoberfläche zu berühren aufhört, noch eine

Differenz zwischen grossem und kleinem Zeiger, so muss auch diese von dem obigen Werthe in Abrechnung gebracht werden.

Nicht selten kommt es vor, dass man die Pelotte auf der Arterie nicht richtig eingestellt hat, d. h. nicht derart, dass diese gerade in ihrer Mitte von jener getroffen wird, sondern so, dass die Pelotte auf einem seitlichen Segment der Arterie aufsass. Dieser Fehler macht sich gewöhnlich in höchst charakteristischer Weise an der Pulsuhr bemerkbar: Zunächst entsteht ein deutlicher Puls bei der Berührung; anstatt dass dieser Puls aber bald eine gewisse Grösse erreicht, hört er nach kurzer Umdrehung auf, und nun rückt der grosse Zeiger von selbst eine Strecke vorwärts, ohne dass am Schlüssel gedreht wurde. Dieses Vorwärtsrücken des Zeigers allein durch die bereits anfangs in Anspruch genommene Federkraft, wobei gleichzeitig die Pulsbewegung sich nicht mehr im Zeiger markirt, zeigt an, dass die Arterie unter der Pelotte hervorgerutscht ist, dass die letztere also nicht gut aufgesetzt war.

Nach der beschriebenen Methode gelingt die Pulsmessung in den meisten Fällen ohne besondere Schwierigkeiten. Besonders leicht ist sie bei mageren Personen auszuführen, schwieriger bei fetten. Zuweilen ist das erste Einstellen der Pelotte in richtiger Lage, zumal bei kleinem, schwachem Pulse und enger Arterie, etwas mühsam; in anderen Fällen glückt die richtige Einstellung im Moment. Selbstverständlich kommt man bei sehr beweglichen, unruhigen Personen weniger leicht zum Ziele, als bei solchen, die in der einmal eingenommenen Stellung mit Ruhe dazusitzen vermögen. Will man mittelst der Pulsuhr experimentelle Untersuchungen anstellen, so wird man sich demgemäss die Versuchspersonen auszuwählen haben.

Um die Messungsmethode am besten zu erläutern, will ich ein concretes Beispiel anführen und zugleich weitere Betrachtungen damit verbinden. Es betrifft einen mässig kräftigen, über mittelgrossen, hageren Studenten der Medicin, A. (Messung am 6. December 1877.)

Stand des kleinen Zeigers in Mm.	Stand des grossen Zeigers in Mm.	Differenz beider = Druckwerth in Grm.	Ausschlag des gr. Zeig. in Mm. Pulsgrösse in $^{1}/_{100}$ Mm.
0	0	0	0
50	45	5	Kleine Spur.
100	90	10	1
150	125	25	5
200	165	35	7
250	205	45	10
300	245	55	12
350	**285**	**65**	**12**
400	330	70	6
500	370	130	2
600	420	180	1
700	450	250	Spur.
750	470	280	do.
800	500	300	do.
890	515	375	0
	rückt auf.		
„	525	365	0

Nach einer Pause wird nunmehr langsam zurückgeschraubt, bis wieder Pulsbewegung eintritt. Dies geschieht bei:

830	**525**	**305**	**Spur.**

Nunmehr ziemlich schnelles Zurückdrehen, bis zum Verschwinden des Pulses; dieses tritt ein bei:

30	**25**	**5**	**0**

Das Resultat aus diesen Zahlen wird folgendermassen bestimmt:

1. Arterienfüllung.

Die Füllung der Arterie wird durch das Messen des Durchmessers derselben festgestellt. Dieser Durchmesser entspricht dem Wege, welchen die Pelotte auf der Oberfläche der Arterie von dem Momente, in welchem dieselbe total comprimirt, bis zu demjenigen, in welchem sie wieder zur vollen Entfaltung

gelangt ist, zurücklegt. Der Pelottenweg wird, wie wir sahen, durch den grossen Zeiger in hundertfacher Vergrösserung angezeigt.

In unserem Beispiel war der höchste Stand des grossen Zeigers, bei dem nach aufgehobener totaler Compression wieder eine Spur von Puls sichtbar wurde, 525. Nachdem am Ende des Versuchs die Arterie sich wieder in ihrer ganzen Fülle entfaltet hatte, und der Puls so eben verschwand, er also gleich Null wurde, war der Stand desselben Zeigers 25. Folglich ist der Weg, den der grosse Zeiger vom Boden der Arterie, an dem der Puls gerade begann, bis zu ihrer Oberfläche, wo er wieder erlosch, = 525 — 25 = 500 Mm.; dies entspricht einem Pelottenwege, resp. Arteriendurchmesser von genau 5,00 Mm.

2. Spannung der Arterie.

Der Druck der Feder, welcher gerade ausreichend war, um den Puls zu unterdrücken, ist gleich dem Stand des kleinen Zeigers minus dem des grossen in Gramm zur Zeit der völligen Compression, resp. wo nach völliger Unterdrückung des Pulses sich die erste Spur desselben wieder zu zeigen beginnt. In dem vorliegenden Beispiel beträgt der Druck 830 — 525 = 305 Gramm.

Hiervon sind 5 Gramm abzuziehen, als diejenige Differenz, welche noch am Nullpunkt zwischen beiden Zeigern bestehen blieb. Sie bezeichnet in der Hauptsache den Druck, welcher zur Zeit noch auf die Compression der Weichtheile verwendet ist. Zugleich gewährt sie die erwünschte Correctur für etwaige Unregelmässigkeiten im Stand beider Zeiger zu einander, wie sie durch etwa vorhandene kleine Ungenauigkeiten des Instruments und vielleicht auch noch durch manche andere Störungen während des Versuchs hervorgerufen werden können.

Es war also, um die Arterie zu comprimiren, ein Druck erforderlich von 305 — 5 Gramm = 300 Gramm. Dies ist der Werth der Arterienspannung — ein complicirter Begriff, den ich

später zu entwirren, und dessen Verhältniss zum Blutdruck ich darzulegen versuchen werde.

3. Grösse des Pulses.

Diese wird bezeichnet durch das Maximum des Ausschlags, welchen der grosse Zeiger liefert. Sie beträgt in unserem Falle 12 Mm., was einem wirklichen Werthe von 0,12 Mm. entspricht. In wie weit dieser Werth mit dem wahren Werthe der Pulshöhe identificirt werden darf, oder welche Einschränkungen für die Vergleichung hier statthaben, auf diese ausserordentlich schwierige Frage, die theils mathematisch, theils experimentell zu lösen ist, kann ich vorläufig nicht eingehen. Nur so viel möchte ich bemerken, dass die durch die Pulsuhr erhaltenen Werthe mir der Wirklichkeit näher zu kommen scheinen als die durch andere Instrumente gewonnenen. Vornehmlich wird das Hinaufschnellen über das Ziel, wie es bei den Hebelsphygmographen statthat, bei meinem Instrument vermieden, und zwar deshalb, weil der kleine Hebelarm durch seine Befestigung an einer Feder ein kräftiges Gegengewicht bietet und eine über das durch den vorhandenen Druck gebotene Mass hinausgehende Bewegung des grossen Hebelarms hindert. Deshalb sind auch die von mir gefundenen Ausschläge im Verhältniss zu der Vergrösserung bei weitem kleiner, als beispielsweise die von Vierordt mit seinem Instrument notirten. Möglich, dass sie wegen des höheren Widerstandes zu klein sind. Ich muss die Frage vorläufig in suspenso lassen. Die Bedeutung dieser Zahlen zur Bestimmung der Pulsgrösse, wenn man sie auch nur als relativen Werth gelten lässt, bleibt trotzdem bestehen, da das eine ja niemals zu leugnen ist, dass sie eine Function der Pulsgrösse darstellen, und die einschränkenden Momente bei der Vergleichung verschiedener Messungen unter einander immer die gleichen bleiben.

VI. Abgekürzte Messungsmethode.

Aus dem eben mitgetheilten Beispiel ist zugleich ersichtlich, dass, um ein rein practisches Resultat zu erhalten, man sich die Messung noch viel bequemer und namentlich viel weniger zeitraubend einrichten kann. Man braucht eben nicht von 50 zu 50 zu messen und die Zahlen zu notiren, sondern man kann sich damit begnügen, allein die drei in der Tabelle fett gedruckten Reihen aufzufinden und niederzuschreiben. Man drehe dann einfach, nachdem richtig eingestellt, zuerst langsam vor, so lange der Puls noch an Grösse zunimmt, bis man das Maximum desselben erreicht, und notire die dazu gehörigen Zahlen. Sodann drehe man schnell weiter bis zum Erlöschen des Pulses, darauf nach einer Pause wieder zurück, bis der Puls von neuem beginnt, notire auch hier die Zahlen und beende dann das Experiment, wie oben, den Nullpunkt aufsuchend. In den drei notirten Reihen hat man dann diejenigen Zahlen, die man für das Resultat braucht.

Ich habe diesen viel kürzeren Weg bisher für gewöhnlich nicht eingeschlagen, weil ich der Ansicht bin, durch den Entwurf ausführlicher Tabellen in gleichem Sinne, wie das angegebene Beispiel zeigt, werden sich manche neue wissenschaftliche Gesichtspunkte auffinden lassen, für welche sich der untersuchende Arzt in den Tabellen ein auch für spätere Zeiten verwerthbares Material schafft. Ich habe mich in dieser Hoffnung nicht getäuscht, wofür ich noch in dieser Arbeit Beweise liefern werde. Hier will ich nur auf einen Punkt als practisch wichtig aufmerksam machen:

Betrachtet man in der obigen Tabelle vergleichsweise das Fortschreiten des grossen neben dem des kleinen Zeigers, so bemerkt man, dass ungefähr in der ersten Hälfte der Beobachtung auf 50 Weg des kleinen Zeigers etwa 35—45 Weg des grossen Zeigers kommt. Ist die Arterie sodann stärker comprimirt, so rückt der grosse Zeiger viel langsamer vor, etwa nur um

15—30 auf 50 des kleinen Zeigers. Nähert sich die Pelotte demjenigen Punkte, wo die Arterie nicht mehr fern von ihrer vollständigen Compression ist, so wird das Vorrücken des grossen Zeigers noch mehr verringert: während der kleine Zeiger von 800 auf 890 vorrückte, ging der grosse nur von 500 auf 515, allmälig auf 525. Würde man nach völliger Compression der Arterie noch weiter gedreht haben, so würde der grosse Zeiger noch viel langsamer weiter rücken, nur etwa 10 auf 100 und weniger. Dies zu wissen, ist von Wichtigkeit, um sich in manchen Fällen, namentlich bei fetten und robusten Personen, über das Ende des Experimentes nicht zu täuschen. Es kommt nämlich bei diesen nicht selten vor, dass die Arterie bereits comprimirt ist, und dennoch zitternde Bewegungen im Zeiger vorhanden sind, die man für Pulsationen halten kann; man schraubt dann leicht weit über das Ziel hinaus, um diese zu unterdrücken; aus dem trägen Vorrücken des grossen Zeigers im Verhältniss zu dem des kleinen (1 : 10 oder auch weniger) kann man dann seinen Fehler erkennen und repariren.

Ich gebe gern zu, dass es in manchen derartigen Fällen schwierig wird, zu einem exacten Resultat zu gelangen; hoffentlich wird es einer verbesserten Methode gelingen, auch diese Schwierigkeiten zu überwinden. Vorläufig ist so viel daraus zu lernen, dass man zum Zweck fortgesetzter wissenschaftlicher Experimente sich nicht solche Individuen aussuchen wird, bei denen diese besonderen Schwierigkeiten der Untersuchung vorliegen.

VII. Weitere Folgerungen aus der Pulsmessung.

Aus der Füllung, Grösse und Spannung des Pulses lassen sich noch andere Momente von grosser Wichtigkeit erschliessen:

1. Blutvertheilung im Körper.

Setzen wir so lange, bis weitere Untersuchungen und mathematische Berechnungen den Gegenstand zum Abschluss und

die nothwendige Correctur unserer Zahlen gebracht haben werden, die mit der Pulsuhr gewonnene Pulsgrösse gleich der wirklichen, so lässt sich folgendes deduciren:

Die Pulsgrösse ist der Werth, um welchen bei jeder Herzsystole der Durchmesser der Arterie auf ihrer Wellenhöhe gegen das Wellenthal vergrössert wird. Sie gewinnt erst ihre Bedeutung durch die Vergleichung mit dem Gesammtdurchmesser der Arterie, oder mit anderen Worten, es handelt sich vornehmlich darum, das Verhältniss der Pulsgrösse zur Arterienfüllung zu bestimmen.

Setzen wir den mit der Pulsuhr gefundenen Durchmesser der Arterie $= a$ und die Pulsgrösse $= b$, so ist der Flächendurchschnitt der Arterie während der Systole derselben $= \frac{a^2 \pi}{4}$; während der Diastole, wo der Durchmesser $= a + b$ ist, ist der Flächendurchschnitt $= \frac{(a+b)^2 \pi}{4}$. Die Differenz zwischen beiden, d. h. die Flächenvergrösserung des Gefässdurchschnitts während der Gefässdiastole beträgt demnach $\frac{(a+b)^2 \pi}{4} - \frac{a^2 \pi}{4} = \frac{(a^2 + 2ab + b^2)\pi - a^2 \pi}{4} = \frac{(2ab + b^2)\pi}{4}$. Es verhält sich demnach der Gefässdurchschnitt in der Gefässsystole zu dem Zuwachs, welcher bei der Diastole hinzukommt, wie $\frac{a^2 \pi}{4} : \frac{(2ab + b^2)\pi}{4} = a^2 : (2ab + b^2)$. Nun ist der Werth b^2 im Verhältniss zu $2ab$ stets ein verschwindend kleiner (so in unserem obigen Beispiel ist $b = 0{,}12$, also $b^2 = 0{,}0144$, während $a = 5{,}0$, also $2ab = 2 . 5{,}0 . 0{,}12 = 1{,}2$ ist) und kann deshalb bei der Berechnung vollkommen vernachlässigt werden; das obige Verhältniss gestaltet sich demnach sehr einfach wie $a^2 : 2ab = a : 2b$.

Halten wir uns wieder an dem obigen concreten Beispiel: Hier ist $a = 5{,}00$, $b = 0{,}12$. Es verhält sich demnach der Gefässdurchschnitt während der Gefässsystole zu dem, was wäh-

rend der Gefässdiastole an Flächendurchschnitt hinzukommt, wie 5,00 : 2 . 0,12 = 5,00 : 0,24 = 20,8 : 1. Da nun der Gefässdurchschnitt den Grad der Gefässfüllung angiebt, so lässt sich das gewonnene Resultat ungefähr so ausdrücken: auf der Höhe der Pulswelle ist der Puls um $\frac{1}{20,8}$, also ca. um $\frac{1}{21}$ voller als während des Wellenthals.

Diese Zahlen geben uns einen relativen Anhalt über das Verhältniss des Blutinhaltes der Herzkammern zu dem der Arterien und der Blutgefässe überhaupt.

Der Kreislauf ist bekanntlich so regulirt, dass in einer Zeiteinheit eben so viel Blut aus der linken Herzkammer in die Arterien abfliesst, wie dem rechten Vorhof aus den Venen zufliesst, und dass dem entsprechend der rechte Ventrikel eben so viel Blut zugeführt erhält, wie die Lungen an den linken Vorhof und dieser wiederum an die linke Kammer abgeben. Durch äussere Anlässe und Krankheiten kann dieses Verhältniss nur ganz vorübergehend gestört werden, sehr bald muss wieder das normale Verhalten eintreten, wenn das Leben überhaupt bestehen soll. Was aber wandelbar ist und durch Krankheiten so wie durch äussere Eingriffe auf die Dauer oder für längere Zeit verändert werden kann, das ist die Blutvertheilung in den verschiedenen Körperorganen.

Ich habe in meiner pneumatischen Therapie [1]) diesen Gegenstand, der für die Pathologie und Therapie von der allergrössesten Bedeutung ist und bis vor kurzem nicht im mindesten richtig gewürdigt wurde, eingehend behandelt. Ich habe dort gezeigt, wie unter dem Einfluss von Krankheiten, besonders Klappenfehlern am Herzen, sowie unter bestimmten therapeutischen Eingriffen zunächst das Verhältniss von Zufluss und Abfluss nur für Momente gestört wird, wie sich aber sehr bald ein Kreislaufsgleichgewicht, wie ich es nannte, einstellt, ein Kreis-

---

[1]) Die pneumatische Behandlung der Respirations- u. Circulationskrankheiten etc. Berlin 1875. Verlag v. Aug. Hirschwald. p. 240 ff.

laufsgleichgewicht unter veränderten Bedingungen, und zwar solchen geänderter Blutvertheilung. So kann beispielsweise bei Stenose der Mitralklappe nur ganz vorübergehend, während die Stenose sich ausbildet, oder während stenosirende Nachschübe oder andere Schädlichkeiten eintreten, ein Missverhältniss zwischen Zufluss von Venen- und Abfluss von Arterienblut stattfinden, wodurch die Lungen mit Blut überfüllt werden. Bald muss, unter dem Anwachsen der Widerstände im kleinen Kreislauf, ein Kreislaufsgleichgewicht sich herstellen, derart, dass in demselben Verhältniss wie dem linken Ventrikel und von diesem den Körperarterien eine verminderte Blutmenge mit jeder Systole zufliesst, auch in der gleichen Zeiteinheit von den Venen nach der rechten Herzhälfte, sowie von den Lungen trotz ihrer Ueberfüllung wieder in den linken Vorhof eine gleich verminderte Blutmenge einströmt. Nur ist die Blutvertheilung eine andere geworden, und die Lungen, der rechte Ventrikel, das linke Atrium oder bei grösserer Störung auch die Körpervenen und Capillaren sind mit Blut überfüllt auf Kosten des Arterienumfanges.

In gleicher Weise lässt sich auch die nach Insufficienz der Mitralklappe bei vollständiger Compensation auftretende Dilatation und Hypertrophie nicht nur des linken Vorhofs und der rechten Herzhälfte, was ja längst geschehen, sondern auch die Hypertrophie des linken Ventrikels auf's einfachste erklären, ohne dass man zu den gewundenen Hypothesen, die von anderer Seite zu Hülfe gezogen wurden, seine Zuflucht zu nehmen braucht. Nachdem nämlich durch die Rückstauung des Blutes in den linken Vorhof und in die Lungen eine Dilatation und consecutive Hypertrophie des linken Vorhofs und der rechten Herzhälfte eingetreten, hat sich ein Kreislaufsgleichgewicht derart ausgebildet, dass der kleine Kreislauf auf Kosten des grossen überfüllt ist. Der dilatirte rechte Ventrikel vermag seinen vermehrten Blutinhalt nicht vollständig zu entleeren wegen der Widerstände, die die Rückstauung des Blutes im linken Vorhof und in den Lungen erfährt; dagegen hat der gleichfalls dilatirte

linke Vorhof bei seiner Systole für seine Entleerung in die linke Kammer — wenn nicht gleichzeitig auch Stenose besteht — keinerlei Widerstände zu überwinden, und somit erhält der linke Ventrikel in seiner Diastole eine gegen die Norm vermehrte Blutmenge zugeführt. Wenn er nun auch bei seiner Systole nur einen Theil dieses Blutes in die Arterien sendet, einen anderen Theil ins Atrium regurgitiren lässt, so hat er doch immer eine gegen die Norm vermehrte Blutmenge zu bewältigen, und die Folge hiervon ist zunächst Dilatation des Ventrikels und, ist der Herzmuskel noch kräftig genug, Hypertrophie desselben. Durch diese Hypertrophie des dilatirten linken Ventrikels kann eine mehr oder weniger vollständige Compensation des Herzfehlers zu Stande kommen, indem der kräftig arbeitende und stärker gefüllte Ventrikel trotz der Regurgitation doch eine grössere Blutmenge als zuvor in die Aorta treibt. Der Abfluss des Blutes aus dem kleinen in den grossen Kreislauf wird nunmehr, zumal unter erhöhter Druckkraft der hypertrophischen Herzhälften, vermehrt, und es stellt sich ein neues Kreislaufsgleichgewicht her, das der Norm mehr oder weniger nahe kommt.[1])

Ein anderes Beispiel ist die Wirkung der comprimirten Luft: beim Beginn der Einathmung comprimirter Luft wird, wie ich gezeigt, eine vermehrte Blutmenge den Körperarterien gegen früher zugeführt, eine verminderte Blutmenge fliesst aus den Venen in den rechten Vorhof ab; aber sehr schnell tritt ein Kreislaufsgleichgewicht ein, derart dass entsprechend dem veränderten Umfang der grossen ab- und zuführenden Gefässe die Verminderung der abfliessenden der der zugeführten Blutmenge proportional bleibt, ganz wie in der Norm, nur die Blutvertheilung ist eine andere geworden; der grosse Kreislauf hat Blut auf Kosten des kleinen gewonnen.

Diese Beispiele mögen zeigen, von wie eminenter Wichtigkeit es ist, das Verhältniss zwischen Arterien- und Herz-

---

[1]) Vergl. meine pneumatische Therapie p. 318.

füllung zu kennen, resp. zu wissen, in welchem Verhältniss frisches Blut aus dem Herzen mit jeder Systole zu dem in den Arterien schon vorhandenen Blute hinzukommt, resp. durch die Capillaren und Venen wieder abfliesst. Dieses aber lehrt uns, wie wir gesehen, die Vergleichung der Pulsfülle mit der Pulsgrösse. Mag die letzte, wie wir sie durch die Messung fanden, auch noch nicht identisch sein mit der wahren Pulsgrösse: ein relatives Verhalten bleibt immer bestehen, und dies allein reicht hin, um die Bedeutung desselben für die vergleichende Beobachtung sicher zu stellen.

Ein Umstand besonders ist es noch, welcher, neben der Blutmenge, die mit jeder Systole in die Arterien strömt, einen wesentlichen Einfluss auf die Höhe der Pulswelle ausübt, dies ist das Verhältniss der Spannung der Arterienwandung zum Blutdruck. Ceteris paribus wird bei geringer Wandspannung die Pulshöhe höher sein als bei stärkerer Spannung der Arterienwandung. Das Verhältniss zwischen Arterieninhalt während der Diastole zu dem während der Systole wird dabei ein gleiches bleiben, da es nur von den relativen Blutmengen abhängt; aber die Form und Grösse der Welle und dem entsprechend das Verhältniss zwischen Wellenberg und Wellenthal wird verschieden sein, je nach dem Verhältniss des Blutdrucks zur Wandspannung der Arterien. Leider ist auf diesem Gebiete meines Wissens noch sehr wenig gearbeitet. Ich hoffe, dass mit Zuhülfenahme der beiden Factoren, Blutdruck und Arterienwandspannung — deren Feststellung mittelst der Pulsuhr gelungen ist — aus der Fülle und Grösse des Pulses die genaue mathemathische Berechnung der Proportion des Arterieninhaltes zwischen Systole und Diastole ausführbar sein wird. Bis dahin mögen die obigen Zahlen als Annäherungszahlen dienen.

Den gefundenen Quotienten, welcher annähernd angiebt, der wievielte Theil der gesammten Blutmasse mit jeder Systole aus dem Herzen in die Arterien fliesst, oder mit anderen Worten der wievielte Theil des Bluts mit jedem Pulsschlag arterialisirt wird,

möchte ich vorschlagen, Blutumlaufs-Quotient zu nennen. In unserem Beispiel ist dieser Quotient = 20,8.

2. Relative Geschwindigkeit des Blutumlaufs.

Multipliciren wir die ad 1 gewonnene Zahl mit der Pulsfrequenz, resp. dividiren wir diese letztere durch den Blutumlaufsquotienten, so erhalten wir ein ungefähres Bild von der relativen Geschwindigkeit des Blutumlaufs im Körper. Setzen wir wieder das obige Beispiel, so sahen wir, dass mit jeder Systole annähernd $\frac{1}{21}$ des Arterieninhaltes sich erneuert. Bei 84 Pulsen in der Minute würde demnach in dem betreffenden Individuum das Blut viermal während einer Minute, also 1 mal in 15 Secunden seinen Umlauf durch den Körper beenden.

Selbstverständlich bedürfen diese Zahlen noch der gleichen Correcturen, die ad 1 in extenso erörtert sind.

Die Zahl der Secunden, welche zu einem Umlauf der gesammten Blutmasse erforderlich ist, möchte ich, nur um einen einigermassen passenden, kurzen Ausdruck zu haben, als Blutwechsel-Coefficient bezeichnen. Derselbe berechnet sich aus der Pulsfrequenz und dem Blutumlaufsquotienten folgendermassen: Die Pulsfrequenz sei f, der Quotient q. Es sind dann q Herzcontractionen zum gesammten Blutumlauf erforderlich und eine Herzcontration hat die Dauer von $\frac{60}{f}$ Secunden; folglich dauert ein Blutumlauf $\frac{60\ q}{f}$ Secunden. Im obigen Beispiel ist der Blutwechelcoefficient = $\frac{60 . 21}{84}$, das ist, wie wir sahen, = 15 Secunden.

3. Pulskraft und Pulsarbeit.

Vierordt[1]) hat den Begriff „Kraft des Pulses“ als das

---

[1]) Vierordt: Die Lehre vom Arterienpuls etc. Braunschweig. 1855. p. 166.

Aequivalent der mechanischen Leistung der Pulswelle festgestellt. Diese Pulskraft berechnet sich aus dem Product der Hubhöhe und des gehobenen Gewichtes. Die Hubhöhe entspricht der Wellenhöhe, d. h. der Grösse des Pulses, das gehobene Gewicht ist dasjenige Gewicht, welches zur Zeit des Maximums der Pulsgrösse auf der Arterie lastet.

Benutzen wir zur Erläuterung wieder das obige Beispiel: Das Maximum der Pulsgrösse 12, d. h. reducirt 0,12 Mm., wurde erreicht, als der kleine Zeiger auf 350, der grosse auf 285 stand, also ein Druck von 350 — 285 = 65 Gramm auf der Arterie lastete. Der Puls war demnach im Stande 65 Gramm 0,12 Mm. hoch zu heben. Seine Kraft lässt sich demnach bestimmen auf 65.0,12 = 7,80 Gramm-Millimeter.

Multiplicirt man diese Zahl noch mit der Pulsfrequenz, so hat man die „relative Arbeit des Pulses“ (Vierordt) in einer Minute. Setzen wir die Pulsfrequenz in unserem Falle gleich 70 in der Minute, so beträgt die relative Arbeit des Pulses in einer Minute 70.7,80 = 546 Gramm-Millimeter.

Selbstverständlich lassen sich die die Pulskraft angebenden Zahlen verschiedener Individuen nur mit einander vergleichen, wenn allen der gleiche Flächenraum der Pelotte zu Grunde liegt, in unserem Falle 10 Q.-Mm.

Ich verzichte auf den Versuch, wie verlockend er auch ist, weitere Consequenzen an den Gegenstand anzuknüpfen. Dieselben werden sich später von selbst ergeben, wenn erst von vielen berufenen Seiten nach dieser Richtung hin weiter gearbeitet wird.

Hier muss ich von neuem darauf aufmerksam machen, dass nachdem das Maximum der Pulshöhe bei einer gewissen Belastung erreicht ist, dieses Maximum meist noch bei einer grösseren Belastung andauert. Um deshalb richtige Zahlen für die Pulskraft und die Pulsarbeit zu erhalten, muss man das Maximum der Pulsgrösse (Hubhöhe) mit der stärksten Belastung, bei welcher dasselbe noch beobachtet wird, multipliciren.

4. Form der Pulswelle.

Obgleich die Pulsuhr die Form der Pulswelle nicht niederschreibt, lässt sie doch dieselbe dem Auge deutlich erkennen und zwar ungeschmälert durch die Reibung des Schreibstiftes, welche die Form immer etwas verändert. Keineswegs will ich hiermit behaupten, dass die Beobachtung der Bewegungen des Zeigers die Sphygmographie zu ersetzen vermag: Im Gegentheil meine ich, dass diese letztere für die Bestimmung der Form der Welle, trotz des Einflusses der Reibung, wesentlich vor der Pulsuhr im Vortheil ist, weil sie schwarz auf weiss (oder weiss auf schwarz) das objective Resultat liefert. So wird namentlich der Pulsus celer und Pulsus tardus sicherlich mit dem Sphygmographen besser und präciser charakterisirt als mit der Pulsuhr. Aber auch mit dieser kann man nach einiger Uebung sehr bequem die Celerität und Tardität des Pulses erkennen und kaum Täuschungen ausgesetzt sein: beim Pulsus celer ist der Ausschlag des Zeigers ein plötzlich emporschnellender (beim Sphygmographen ist dagegen eine kleine Verzögerung durch die Reibung wohl kaum zu umgehen), beim Pulsus tardus ist die Bewegung des Zeigers bis zur Pulshöhe hin merklich langsam.

Ausserordentlich deutlich ist die Dicrotie des Pulses, sowohl die normale wie die pathologische, an der Pulsuhr zu beobachten; ebenso lässt sich ungefähr bestimmen, auf welcher Höhe des absteigenden Wellenschenkels, im Verhältniss zu seiner Länge, die Dicrotie eintritt.

Ganz vorzüglich ist jede Art von Irregularität des Pulses an der Pulsuhr wahrzunehmen. Schon die durch die gewöhnliche Athmung bedingten regelmässigen Schwankungen der Pulscurve sind deutlich ausgeprägt; zumal wenn man bei allmälig zunehmendem, resp. abnehmendem Druck prüfend untersucht, wird man immer an einem Punkte ankommen, an welchem der Einfluss der Athmung auf den Puls auf's klarste zur Anschauung gelangt. Ganz besonders ist die Wirkung tiefer Inspirationen und Exspirationen stets in die Augen springend.

Pathologische Irregularitäten kommen auf's präciseste zur Anschauung, nicht blos Aussetzen des Pulses oder veränderter Rhythmus, sondern vornehmlich auch Unregelmässigkeiten in der Pulsgrösse und in der Pulsspannung, die bei einiger Mühe auch messbar sind.

Je nachdem die Irregularitäten bei verschiedenem Druck in die Erscheinung treten, lassen sich noch mancherlei Schlüsse ableiten, auf die ich indess, um mich nicht in Details zu verlieren, nicht weiter eingehen will.

Nur bemerken muss ich, dass hier wieder ein sehr wesentlicher Vorzug vor der Sphygmographie vorliegt; denn an der Pulsuhr lässt sich die Form der Pulswelle auch bei ihrem ersten Entstehen, d. h. schon bei so geringer Belastung, dass diese für das Niederschreiben der Pulswelle am Sphygmographen noch nicht ausreicht, und eben so bei stärkster Belastung, wo der Puls dem Unterdrücktsein nahe ist, und gleichfalls ein brauchbares Sphygmogramm nicht mehr zu erzielen ist, auf's deutlichste beobachten. Gerade diese Extreme des Pulswellen-Ausschlags gestatten die bedeutendsten Schlussfolgerungen, worauf wir später zurückkommen werden, und sie gelangen allein bei der Pulsuhr und nicht beim Sphygmographen zur Anschauung. Unregelmässigkeiten in der Form und Grösse des Pulses machen sich bei der geringsten und bei der stärksten Belastung der Arterie ganz wesentlich bemerklich, und es ist eine grosse Mannigfaltigkeit der Erscheinungen, die uns hier bei der Beobachtung verschiedener Individuen mittelst der Pulsuhr entgegen tritt. Für jetzt muss es genügen, auf dieselben hingewiesen zu haben. Die wissenschaftliche Verwerthung derselben muss weiteren mühevollen Studien überlassen bleiben.

VIII. Aufgaben und Ziele der Pulsmessung.

Die Aufgaben, welche die Angiometrie zu lösen, und die Ziele, welche sie zu verfolgen hat, sind ausserordentlich zahlreich, und an Wichtigkeit derselben dürfte sie kaum irgend eine andere Methode übertreffen.

Zunächst gehört die Pulsmessung der Physiologie an. Bisher beschränkte sich die experimentelle Physiologie und die sich ihr anschliessende experimentelle Pathologie fast einzig und allein auf Thierversuche, da ihr die Mittel zu exacten Versuchen am Menschen fehlten. Durch die Pulsuhr, mit der es, wie wir sehen werden, auch den Blutdruck zu messen gelingt, ist es ermöglicht, am Menschen selbst Beobachtungen anzustellen, um seine Blutcirculation zu studiren. Was das Kymographion am Thier, das soll die Pulsuhr fortan beim Menschen leisten. Wie hoch man auch das Thierexperiment veranschlagen mag, und wie unentbehrlich es auch für alle Zeiten ist und bleiben muss, so wird doch wohl auch niemand daran zweifeln, dass Untersuchungen am Menschen selbst, sobald Methoden für dieselben gefunden sind, einerseits zur Controle gewisser Thierversuche, andererseits zur Erörterung mancher Fragen, welche am Thier überhaupt nicht auszuführen sind, durchaus nothwendig sind. Ich trage kein Bedenken, es auszusprechen, dass die Physiologie, welche sich meist unter dem Titel: „Physiologie des Menschen" präsentirt, im Grunde genommen viel richtiger „Physiologie der Thiere" sich nennen müsste; denn das grossartige Gebäude, welches sie aufgerichtet, ist vornehmlich aus Bausteinen, welche das Thierexperiment geliefert, zusammengesetzt und nur zum kleinsten Theil aus Beobachtungen am Menschen gewonnen worden. Selbstverständlich bin ich weit entfernt davon, die bisherige Methode der Forschung herabzusetzen oder die Uebertragung der Ergebnisse der Thierexperimente auf den Menschen, soweit dieselben sich auf analoge Functionen beziehen,

irgend wie beanstanden zu wollen. Aber mehr, als es bis jetzt geschieht, sollte sich doch, meine ich, die Physiologie mit der Beobachtung des Menschen selbst befassen; denn, wenn auch generell die Functionirung der Organe bei Menschen und höheren Thieren übereinstimmt, so ist es doch von Wichtigkeit, die der menschlichen Natur zukommenden besonderen Eigenthümlichkeiten kennen zu lernen.

Dass man übrigens auch vielfach zu weit geht in der einfachen Uebertragung dessen, was das Thierexperiment ergeben, auf den Menschen, indem man die besonderen Verhältnisse, in denen sich der gesunde oder kranke Mensch befindet, im Gegensatz zu der Lage des Thieres, in die es behufs bequemer Ausführung des Experiments versetzt wurde, ausser Acht lässt, wird wohl niemand anzweifeln, der mit offenen Augen die Arbeiten der neueren Zeit verfolgt. Beispiele selbst von Seiten hervorragender Forscher könnte ich genügend beibringen, würde mich dies von meinem Thema nicht zu weit abführen. Der Respect vor dem Thierexperiment geht so weit, dass mancher Autor oft genug mit einem einzigen Thierversuch, ohne dessen Vieldeutigkeit zu beachten, auf langjährige Erfahrungen der besten Aerzte gestützte Thatsachen glaubt umstossen zu dürfen. Dies sind Ausschreitungen, für welche die bisherige experimentelle Methode keineswegs verantwortlich gemacht werden soll, die aber doch laut genug mahnen, überall, wo es möglich, die Resultate des Thierexperiments auch am Menschen zu controliren, und überhaupt mehr, als es bisher geschah, den Menschen selbst zum Objecte seiner Beobachtung zu machen.

Es ist unmöglich, auch nur in einer Skizze die Aufgaben entwerfen zu wollen, zu deren Lösung die Physiologie sich der Angiometrie wird bedienen können. Je mehr man arbeitet, je mehr man in seinen Studien fortschreitet, desto mehr neue Aufgaben treten an den Forscher heran, die der Lösung harren und ihr zugänglich werden, desto mehr erweitern sich die zuerst gesteckten Ziele. Mir selbst erscheinen diese jetzt schon so aus-

gedehnt, dass ich mich bescheiden muss, nur einen winzigen Bruchtheil zu der bevorstehenden Arbeit beitragen zu können.

Gewisse principielle physiologische Vorfragen sind es zunächst, welche zu lösen sind, bevor zu weiteren, namentlich diagnostischen Untersuchungen geschritten werden kann:

In welchen Grenzen schwankt die Pulsspannung, Pulsfülle, Pulsgrösse bei verschiedenen gesunden Menschen?

In welchen Grenzen bei einem und demselben Individuum innerhalb seiner Gesundheitsbreite?

Sind regelmässige Tagesschwankungen, etwa nach den Mahlzeiten, im Wachen und Schlafen u. s. w. vorhanden?

Wie ist das Verhältniss zwischen Männern und Frauen, Kindern und Greisen?

Wie verhält sich der Puls bei verschiedenen Körperlagen? namentlich im Stehen, Sitzen und Liegen? bei erhobenem und gesenktem Arm?

Ganz besonders wichtig muss es sein, die *Wirkung der Athmung* auf die verschiedenen Qualitäten des Pulses zu studiren.

Ihren vorzüglichsten Wirkungskreis muss sodann die Angiometrie, wenn sie ihre Aufgabe erfüllt, in der *Pathologie* und *Diagnostik* finden.

In der *Pathologie* ist, wie wir wissen, der Puls schon für den nur tastenden Finger ein überall unentbehrlicher Wegweiser und Rathgeber; um wie viel mehr dürfte er es sein, wenn seine Qualitäten objectiv zu bestimmen sind. Selbstverständlich meine ich nicht, dass das Pulsfühlen durch das Pulsmessen je verdrängt werden soll; ja ich glaube vielmehr, dass das Pulstasten durch zu erlernende Vergleichung mit den Resultaten der Messung sich zu einer grösseren Schärfe wird ausbilden lassen. Auch habe ich nicht im entferntesten die Ansicht, dass künftig die Pulsmessung bei allen oder auch nur bei den meisten Kranken wird angewendet werden müssen. Allein, davon bin ich überzeugt, dass, wenn erst bestimmte Resultate gewonnen sein

werden — und sie müssen unzweifelhaft erreicht werden — zu einer exacten Diagnose in erster Reihe die Ergebnisse der Pulsmessung gehören werden, und dass eben so wenig, wie man gegenwärtig in einer fehlerfreien Krankenbeobachtung von einer dem Gefühle nach erhöhten Temperatur ohne Angabe der thermometrisch gewonnenen Zahl spricht, in einer noch zu eruirenden Reihe von Krankheiten die Pulsmasse werden entbehrt werden können. Uebrigens nimmt die Pulsmessung auch keineswegs mehr Zeit in Anspruch als die Thermometrie. In erster Reihe sind es sicherlich die Krankheiten des Circulationsapparats, welche der Angiometrie dringend bedürfen; an sie schliessen sich wohl zunächst die Respirationskrankheiten und vielleicht auch sämmtliche fieberhafte Processe an. Den Puls im Fieber genauer als bisher zu studiren, halte ich für eine der wichtigsten Aufgaben.

Wofür ich endlich noch die Angiometrie ganz besonders in's Auge fasse, ist ihre Benutzung zu experimentell therapeutischen Untersuchungen. Man war bisher zur Lösung vieler hierher bezüglichen Fragen ganz allein auf das Thierexperiment angewiesen, bei dem man das Kymographion zu benutzen im Stande war, und man ging auch hier leider oft mit viel zu wenig Kritik zu Werke bei der Uebertragung der an Thieren gewonnenen Resultate auf den Menschen. Die Versuche mit Digitalis, den Kalisalzen, dem Alcohol etc. werden am Angiometer zu erneuern und mit den früheren Thierergebnissen zu vergleichen sein.

Aber nicht blos die reine Pharmacodynamik, ganz besonders auch die Wirkung anderer therapeutisher und hygieinischer Agentien, namentlich der physicalischen und klimatischen Heilmittel, kann und muss sich der Angiometrie aufs nutzbringendste bedienen.

So habe ich selbst bereits zahlreiche Versuche über die Wirkung der Einathmung comprimirter und verdünnter Luft, der Ausathmung in verdünnte und comprimirte Luft, des Valsal-

va'schen Versuchs, tiefer Inspirationen etc. auf den Puls ausgeführt, die ich später mittheilen werde. Hieran werden sich zweckmässige Untersuchungen über die Wirkung der verdichteten und verdünnten Luft in pneumatischen Cabinetten, über die verdünnte Luft in Gebirgsorten u. s. w. anschliessen. Vielleicht dass durch derartige Untersuchungen die vielen bisher ungelösten Fragen endlich zu einer befriedigenden Lösung gelangen. Auch der Einfluss der Wärme und Kälte, der trocknen und der feuchten Luft, der warmen und kalten Bäder etc. etc. auf den Puls und die Blutcirculation des Menschen lässt sich vermittelst der Pulsuhr in bequemer Weise studiren.

Dies sollen nur kurze Andeutungen der am nächsten zu lösenden Aufgaben sein, denen sich nothwendig immer neue anschliessen werden.

Nur eines Punktes möchte ich noch Erwähnung thun, der mir besondere Beherzigung verdient: ich meine nämlich das Studium der Wirkung psychischer Affecte auf den Puls und die Blutcirculation. Dies ist eine Aufgabe, die überhaupt nur am Menschen zu lösen ist, und über deren Tragweite sich wohl niemand täuschen wird, der den Einfluss deprimirender oder erregender Gemüthsaffecte, sei es plötzlicher sei es durch längere Zeit andauernder, auf die Gesundheit des Menschen, besonders auf gewisse Organsysteme, namentlich den Circulations-, den Respirations- und den Digestionstractus — ganz abgesehen vom Nervensystem — kennen gelernt hat. Dass heftige Gemüthsaffecte tief eingreifend in den körperlichen Organismus wirken und ernste Krankheiten bedingen können, darüber wird wohl nirgends mehr ein Widerspruch herrschen, und die Zeit der Skepsis, wo die durch Jahrhunderte lange Erfahrung beglaubigte Entstehung von Herzkrankheiten aus psychischen Einwirkungen mitleidig belächelt wurde, dürfte jetzt wohl ihr Ende erreicht haben. Die Vermittlung zwischen dem psychischen Affect und der Störung in irgend einem Körperorgan geschieht auf dem Wege des Circulationsapparates durch die

vasomotorischen Nerven. Es ist ganz besonders die Blutvertheilung im Körper, die plötzlich vorübergehend, oder bei andaurenden Affecten für die Dauer gestört wird, aus welcher krankhafte Functionirung verschiedner Organe, deren Blutzufuhr abnorm vermehrt oder vermindert wurde, sich entwickelt. Wie es jetzt durch zahlreiche Beobachtungen[1]) unzweifelhaft feststeht, dass Ueberanstrengung des Körpers auf mechanischem Wege Dilatation des Herzens und secundäre Hypertrophie desselben hervorrufen könne, ja dass selbst durch Heben einer grossen Last ein Klappenfehler plötzlich entstehen könne, ebenso ist es meiner Ansicht nach durchaus begreiflich, wie beispielsweise durch einen Schreck plötzlich eine gleiche Stockung der Blutcirculation, eine gleich abnorme Ueberfüllung des Herzens mit Blut durch vasomotorische Constriction der peripheren Gefässe entstehen könne, wie bei dem durch Tragen einer Last mechanisch behinderten Blutumlauf und verminderten Blutabfluss aus dem Herzen.[2])

Ich bin der festen Ueberzeugung, dass nicht nur bei den plötzlichen Affecten, wie z. B. beim Schreck, wo schon der blosse Anblick das zum Tode blass gewordenen erschrockenen die Constriction der kleinen Gefässe und die veränderte Blutvertheilung erweist, sondern dass auch bei andauernden Gemüthsaffecten, den aufregenden sowohl wie den deprimirenden (Kummer, Sorge) gewisse Circulationsstörungen bestehen, von welchen neben dem directen Nerveneinflusse die abnormen Functionirung der Organe, z. B. des Digestionstractus, abhängt.[2])

Diese Circulationsstörungen nachzuweisen, hoffe ich, soll der Angiometrie gelingen.

---

[1]) Vergl. Seitz: Die Ueberanstrengung des Herzens. Sechs Abhandlungen von Albutt, da Costa, Meyer, Seitz, Thurn etc. Berlin 1875. Hirschwald.

[2]) Ich habe schon bei einer früheren Gelegenheit diese meine Anschauungen angedeutet, und zwar bei einer Kritik des eben citirten Werkes von Seitz in der Klin. Wochenschrift. 36. 1875.

IX. Ergebnisse der Pulsmessung.

Ich lasse nunmehr die Resultate, welche ich aus einer Reihe von Pulsmessungen gewonnen habe, in aller Kürze hier folgen. Ich verzeichne nur diejenigen Resultate, welche mit dem Instrument in seiner jetzt vorliegenden vollendeten Form und mit der ellipsoidähnlichen Pelotte von 5 Mm. und 2 Mm. Durchmesser gewonnen wurden, und welche mir zur Zeit der Messung fehlerfrei erschienen. Nun hat sich freilich im Verlaufe der Zeit meine Untersuchungsmethode allmälig verbessert, und manches Resultat wäre vielleicht bei einer vollkommneren Untersuchungsmethode modificirt worden. Indess glaube ich doch, dass so schwerwiegende Fehler nicht vorhanden sein dürften, dass das allgemeine Resultat im grossen und ganzen dadurch beeinträchtigt würde.

Mit Fleiss habe ich unter die Messungsresultate anscheinend gesunder Personen auch diejenigen aufgenommen, welche extreme Zahlen, d. h. solche, die von den übrigen sehr wesentlich abweichen, darboten. Wenn es mir auch möglich schien, dass hier ein Messungsfehler vorlag, so war derselbe doch zur Zeit der Messung nicht ersichtlich gewesen, und principiell wollte ich mich von jeder nachträglichen Interpretation fern halten. In diesen Fällen war es übrigens auch denkbar, dass in der That eine Pulsabnormität vorlag, die auf Constitutionsanomalie oder auf anderen unbekannten Circulationsbedingungen beruhte.

Tabelle I.

Ergebnisse an gesunden Männern.

In dieser sowie in den drei folgenden Tabellen ist gesund in dem Sinne aufzufassen, dass die betreffenden an keiner Affection eines wichtigen Organs, namentlich an keiner, welche die Respiration und Circulation beeinflusst, litten. Manche hatten Pharyngitis oder Laryngitis, andere eine phonische Paralyse der Stimmbänder, keiner ein Leiden, welches den Allgemeinzustand merklich beeinflusste. Wo eine locale Affection bestand, ist dies in der Tabelle übrigens notirt.

Name, Stand und Alter.	Bemerkungen betreffend die Constitution oder etwaige locale Affectionen.	Fülle resp. Durchmesser der Arterie (a). Mm.	Spannung der Arterie (s). Grm.	Grösse des Pulses resp. Höhe der Pulswelle (b), reducirt auf Mm. Mm.	Relative Füllungsdifferenz zwischen Systole u. Diastole der Arterie $\left(\frac{2b}{a}\right)$	Kraft des Pulses. Hubhöhe (Pulsgrösse) mal gehobenem Gewicht. Grm.-Mm.
1. Krs., Stud. med. 19 J.		5.90	390	0.10	1 29.5	0.10.90 = 9,00
2. Rst., Stud. med. ca. 22 J.		5,35	245	0,11	1/24,3	0,11.90 = 9,90
3. As. desgl.		5,00	300	0,12	1 21	0,12.65 = 7,80
4. Hmb. desgl.		6,20	555	0,11	1 28,2	0,11.110 = 12.10
5. Rss., desgl.		6,30	510	0,08	1 39,4	
6. Schr., Stud. med., 24 J.		4,82	433	0,07	4/34,3	0,07.90 = 6.30
7. Mlzr.. Stud. med., 25 J.		4,14	459	0,04	1/52	0,04.288 = 11.52
8. X., Mechaniker, ca. 27 J.		5.81	473	0.06	1 48	0.06.90 = 5,40
9. Schr., Stud. med., 29 J.		4,50	520	0,12	1/19	0,12.57 = 6,84
10. Dr. med. Gr., 29 J.		4,56	343	0,05	1 45,6	0,05.159 = 7,95
11. Sk., Mechaniker, ca. 30 J.		3,70	354	0,05	1/37	0,05.215 = 10,75

Name, Stand und Alter.	Bemerkungen betreffend die Constitution oder etwaige locale Affectionen.	Fülle resp. Durchmesser der Arterie (a). Mm.	Spannung der Arterie (s). Grm.	Grösse des Pulses resp. Höhe der Pulswelle (b), reducirt auf Mm. Mm.	Relative Füllungsdifferenz zwischen Systole u. Diastole der Arterie. $\left(\frac{2b}{a}\right)$	Kraft des Pulses. Hubhöhe (Pulsgrösse) mal gehobenem Gewicht. Grm.-Mm.
12. Kb., Diener, 38 J.		5.60	516	0.07	1 40	0.07.160 = 11,40
13. Dr. med. Vgt., ca. 40 J.		4.40	307	0,09	1,24 4	0,09.205 = 18,45
14. Dr. med. Sch., ca. 45 J.		4,18	622	0,06	1.34 8	0,06.130 = 7,80
15. Dr. med. Vl., ca. 45 J.		4,79	176	0,04	1/60	0,04.95 = 3,80
16. Sml., Stud. med., 22 J.	Klein, sehr schwächlich.	3.53	307	0,04	1 44	0,04.140 = 5,60
17. Dr. phil. Blt., ca. 30 J.	Pharyngitis.	4,35	345	0,10	1,21 7	0.10.135 = 13,5
18. Derselbe, ca ½ J. später.	—	4.44	336	0,10	1 22	0,10.121 = 12,1
19. Dr. phil. Prt., 32 J.	Pharyngo-Laryngitis.	5,40	473	0,07	1 38	0,07.150 = 10,50
20. Jcb., Schauspieler, 21 J.	Pharyngitis.	4.50	641	0,06	1 37	0,06.205 = 12,30
21. And., Maler, 27 J.	Pharyngo-Laryngitis.	5,61	656	0,06	1/46	0,06.205 = 12,30
22. Rfl., Sänger, 36 J.	do.	5,80	555	0,10	1/29	0,10.120 = 12,00
23. Arndt, Buchbinder, ca. 30 J.	do.	4.70	312	0,04	1.58/8	0.04.105 = 4,20
24. Skr., Schneider, ca. 30 J.	schwächlich, Pharyngo-Laryngitis.	3.50	280	0.04	1,43 7	0,04.105 = 4,20
25. Schrfb., Kaufm., 20 J.	schwächlich, Pharyngitis.	4,70	608	0.04	1 59	0,04.105 = 4,20

Name, Stand und Alter.	Bemerkungen betreffend die Constitution oder etwaige locale Affectionen.	Fülle resp. Durchmesser der Arterie (a). Mm.	Spannung der Arterie (s). Grm.	Grösse des Pulses resp. Höhe der Pulswelle (b), reducirt auf Mm. Mm.	Relative Füllungsdifferenz zwischen Systole u. Diastole der Arterie. $\left(\frac{2b}{a}\right)$	Kraft des Pulses. Hubhöhe (Pulsgrösse) mal gehobenem Gewicht. Grm.-Mm.
26. Zgm., Stud. math., 22 J.	Pharyngo-Laryngitis.	3.67	442	0.04	1 46	0.04.143 = 5,72
27. Mchl.. Stud. med.. 22 J.	Pharyngitis granulosa.	5,07	398	0,07	1 36	0,07.129 = 9,03
28. Phlt.. Kaufm.. 21 J.	sehr schwächlich. später phthisisch.	3,86	224	0.08	1.24	0,08.95 = 7,60
29. Fnz., 17 J.	Litt früher an Asthma.nach pneumat. Behandl. seit länger als 1 Jahr ohne Anfall.	4.90	382	0,07	1,35	0,07.140 = 9,80

Tabelle II.

Ergebnisse an gesunden Frauen.

Name, Stand und Alter.	Bemerkungen betreffend die Constitution oder etwaige locale Affectionen.	Fülle resp. Durchmesser der Arterie (a). Mm.	Spannung der Arterie (s). Grm.	Grösse des Pulses resp. Höhe der Pulswelle (b), reducirt auf Mm. Mm.	Relative Füllungsdifferenz zwischen Systole u. Diastole der Arterie. $\left(\frac{2b}{a}\right)$	Kraft des Pulses. Hubhöhe (Pulsgrösse) mal gehobenem Gewicht. Grm.-Mm.
30. Frau If., 23 J.	gross u. hager.	3,28	242	0,05	1/32.8	0.05.140 = 7,00
31. Fr. If., 27 J.	do.	3.90	242	0,06	1/32,5	0.06.130 = 7,80
32. Fr. Tr., ca. 30 J.	Pharyngitis.	4.52	432	0,07	1/32	0.07.150 = 10,50
33. Fr. Wld., 65 J.		4,50	370	0,04	1/56	0.04.195 = 7,80
34. Fr. Dmg., 38 J.	Sehr gross u. hager, Pharyngitis.	4,02	208	0,05	1/40	0,05.159 = 7,95
35. Frl. Mv., 35 J.	Paralys. chord voc. phon. Hysteria.	3,04	146	0,09	1/17	0.09.120 = 10,80
36. Frl. Schb., 26 J.	Paresis phon. chord. voc. sin.	3,85	570	0,03	1/64	0,03.190 = 5,70
37. Fr. Pt., 30 J.	Sehr kräftig, Lues.	4,33	376	0,14	1/15,5	0.14.120 = 16,80
38. Frl. Sch., 23 J.	Lues.	3,22	368	0,035	1/46	0.035.75 = 2,625
39. Fr. Lnd., 39 J.	Hemicranie.	3,50	255	0.04	1/43.7	0.04.150 = 6,00
40. Dieselbe.	Unmittelbar nach Einathmung von Amylnitrit.	4,45	375	0.05	1/44,5	0,05.140 = 7,00

Tabelle III.

Mittlere Werthe bei Gesunden.

	Fülle resp. Durchmesser der Arterie (a). Mm.	Spannung der Arterie (s). Grm.	Grösse des Pulses resp. Höhe der Pulswelle (b)', reducirt auf Mm. Mm.	Relative Füllungsdifferenz zwischen Systole u. Diastole der Arterie. $\left(\frac{2b}{a}\right)$	Kraft des Pulses. Grm.
rchschnittswerth bei gesunden lännern aus 29 Messungen . . Tabelle I.	4.80	419	0,07	1 33.5	9.00
rchschnittswerth bei gesunden 'rauen aus 10 Messungen . . Tabelle II. No. 30—39.	3.82	321	0,06	1/31,3	8,30
tel zwischen dem Werthe der länner und Frauen	4.31	370	0.065	1 32,4	8.65
rchschnittswerth aus den Beobchtungen an 29 Männern und 0 Frauen zusammengenommen	4.55	394	0,069	1, 32.9	8,82

Tabelle IV.

Ergebnisse an gesunden Kindern bis zur Pubertät.

Name, Stand und Alter.	Bemerkungen betreffend die Constitution oder etwaige locale Affectionen.	Fülle resp. Durchmesser der Arterie (a). Mm.	Spannung der Arterie (s). Grm.	Grösse des Pulses resp. Höhe der Pulswelle (b), reducirt auf Mm. Mm.	Relative Füllungs-differenz zwischen Systole u. Diastole der Arterie. $\left(\frac{2b}{a}\right)$	Kraft des Pulse[s] Hubhöhe (Puls[-] grösse) mal gehobenem Gewicht.[1] Grm.-Mm.
41. Paul Kb., 6 J.	kräftig.	1.17	93	0.03	1 19.5	0,03.55 = 1,6
42. Franz Kb., 7 J.	schwächlich.	1.80	60	0.04	1 22.5	0,04.50 = 2,0
43. Rst., 12 1/2 J.	kräftig, mittelgross.	2.92	118	0.05	1 29.2	0,05.60 = 3,0
44. J. Lw., 13 1/4 J.	ziemlich kräftig.	2,86	157	0.03	1, 47.6	0,03.80 = 2,4
45. Marth. Lw., 14 J.	noch nicht entwickelt.	2,80	170	0,05	1 28	0,05.30 = 1,5
46. Dieselbe, 15 1/4 J.	vollkommen entwickelt.	5,22	284	0,05	1 52	0,05.92 = 4,6
47. Dieselbe, 15 1/2 J.		3,14	259	0.06	1 26,2	0,06.110 = 6,6
48. Sm., 14 3/4 J.	kräftig, gross, zuweilen nächtliches Asthma.	3,11	269	0.05	1/31.1	0,05.70 = 3,5
49. Blch., 15 J.	kräftig, mittelgross.	4,01	342	0,06	1 33.4	0,06.115 = 6,9
50. Hll., 15 J.	kräftig, mittelgross.	3,45	285	0,06	1, 28,8	0,06.80 = 4,8

[1]) Wo der Durchmesser des Pulses kleiner als 2 Mm. ist, müsste die Spa[n]nung und demgemäss auch die Pulskraft dem entsprechend umgerechnet werde[n]. Ich unterlasse die Umrechnung, weil die übrigen hierbei noch in Betracht kom[-]menden Factoren, so besonders der Widerstand der Umgegend der Arterie, u[n]bekannt sind.

…ame, Stand und Alter.	Bemerkungen betreffend die Constitution oder etwaige locale Affectionen.	Fülle resp. Durchmesser der Arterie (a). Mm.	Spannung der Arterie (s). Grm.	Grösse des Pulses resp. Höhe der Pulswelle (b), reducirt auf Mm. Mm.	Relative Füllungsdifferenz zwischen Systole u. Diastole der Arterie. $\left(\frac{2b}{a}\right)$	Kraft des Pulses. Hubhöhe (Pulsgrösse) mal gehobenem Gewicht. Grm.-Mm.
Ad. Lw.. 16 J	mäss. kräftig.	3.94	199	0.10	1 19.7	0.10.65 = 6,50
Derselbe, $^1/_3$ J. später.		3.97	155	0.10	1 20	0.10.46 = 4,60
Wgt., $16^1/_2$ J.	zieml. kräftig. etwas skoliotisch. Pharyngo-Laryngitis. Pubertät, wie es scheint, überschritten.	3.70	180	0.07	1 26.4	0.07.112 = 7,84

Tabelle

Ergebnisse

Name und Alter.	Krankheit.	Fülle resp. Durchmesser des Pulses (a). Mm.	Spannung des Pulses (s). Grm.	Grösse des Pulses, resp. Höhe der Pulswelle (b), reducirt auf Mm.
54. Bmgt., 47 J.	Insuffic. valv. Aortae mit Hypertroph. cordis.	6,15	938	0,16
55. Zchw., 48 J.	do.	5.90	600	0,13
56. Schrt., 24 J.	do. (gut compensirt).	6,05	1097	0,10
57. Hlzb , 45 J.	Insuffic. valv. Aortae. Compensationsstörung.	6,85	695	0,09
58. Zwk., 24 J.	Stenosis et insuffic. valv. Aortae. Hypertroph. cord.	3,50	1112	0,035
59. Frau Strm., 63 J.	Stenosis ostii ven. sin.	3,05	255	0,025
60. Dieselbe.	do.	4,21	528	0,055
61. Frl. Wlf., 15 J.	do.	1,70	181	0,02

V.

an Kranken.

Relative Füllungs-differenz zwischen Systole u. Diastole der Arterie. $\left(\frac{2b}{a}\right)$	Kraft des Pulses. Hubhöhe (Puls-grösse) mal geho-benem Gewicht. Grm.-Mm.	Bemerkungen.
1/19,2	0,16.110 = 17,60	
1/23	0,13.165 = 21,45	
1/30,2	0,10.230 = 23,0	
1/38	0,09.61 = 5,49	
1/50	0,035.175 = 6,12	
1/61	0,025.135 = 3,375	Pat. athmet seit 5 Wochen an meinem pneumatischen Apparat comprimirte Luft ein. Seitdem ist unter erheblicher Besserung des Allgemeinbefindens der Puls für den tastenden Finger wesentlich voller, gespannter und grösser geworden, ausserdem hat sich die frühere Irregularität verloren. Die obigen Pulswerthe sind demnach durch die pneumatische Behandlung bereits beeinflusst und waren zu Anfang entschieden beträchtl. kleiner.
1/38	0,055.187 = 10,28	11 Tage später, nach fortgesetzter pneumatischer Behandlung und unmittelbar nach dem Gebrauch der comprimirten Luft aus dem transportablen pneumat. Apparat, bei vollkommenem Wohlbefinden.
1/42,5	0,02.150 = 3,00	Pat athmet seit 3 Wochen comprim. Luft am pneumat. Apparat ein. Auch hier

Name und Alter.	Krankheit.	Fülle resp. Durchmesser des Pulses (a). Mm.	Spannung des Pulses (s). Grm.	Grösse des Pulses, resp. Höhe der Pulswelle (b), reducirt auf Mm. Mm.
62. Dieselbe.	Stenosis ostii ven. sin.	1.94	190	0,04
63. Agth. Fsch., 13 J.	Stenosis ostii ven. sin. Asthma.	2.50	100	0,01
64. Ln., 17 J.	Leichte gut compensirte Stenosis ostii ven. sin., ohne Symptome.	3.10	193	0,06
65. Rbsk., 41 J.	Stenosis ostii ven. sin. und wahrscheinlich auch Sten. ostii art. sin. mit Hypertrophie des linken Ventrik.	3,36	459	0,02
66. Frl. Bkwk., 18 J.	Insuffic. valv. mitral., zur Zeit vollkommen compens.	4,30	190	0,05
67. Dieselbe, 11 Monate später.	Insuffic. valv. mitral. Compensationsstörung; in der Besserung begriffen.	2.80	283	0.03
68. Frau Frbl., 42 J.	Insuffic. valv. tricuspid.,	7,50	1030	0,09

Relative Füllungs-differenz zwischen Systole u. Diastole der Arterie. $\left(\frac{2\,b}{a}\right)$	Kraft des Pulses. Hubhöhe (Puls-grösse) mal gehobenem Gewicht. Grm.-Mm.	Bemerkungen.
		ist unter wesentlicher Besserung aller Krankheitssymptome und des Allgemeinbefindens der Puls bereits vollkommen regelmässig und für den tastenden Finger viel voller, gespannter und grösser als zuvor geworden. Die Messung hätte demnach zu Anfang sicherlich viel kleinere Zahlen als die obigen ergeben.
1/24,2	0,04.78 = 3,12	11 Tage später, nach fortgesetzter pneumatischer Behandlung und unmittelbar nach Einathmung d. comprim. Luft aus dem transportablen pneumat. Apparat. Weiter vorgeschrittene Besserung aller Symptome.
1/125	0,01.85 = 0,85	Grosse Schwankungen in der Höhe der Curve, der Grösse des Pulses und der Spannung der Arterie.
1/25,8	0,06.80 = 4,80	
1/84	0,02.280 = 5,60	Puls nach allen Richtungen sehr unregelmässig.
1/43	0,05.65 = 3,25	
1/47	0,03.220 = 6,60	
1/41,7	0,09.170 = 15,30	

Name und Alter.	Krankheit.	Fülle, resp. Durchmesser des Pulses (a). Mm.	Spannung des Pulses (s). Grm.	Grösse des Pulses, resp. Höhe der Pulswelle (b), reducirt auf Mm.
	gut compensirt. Vorgeschrittene Gravidität.			
69. Grnd., 63 J.	Pericarditische Adhäsionen.	3.60	360	0,04
70. Frl. Zrn., 23 J.	Beginnender Morbus Basedowii in der Reconvalesc. von Typhus.	2,75	197	0,03
71. Kl., Stud. theol. 17½ J.	Schwächl. Habitus mit Disposition z. Phthisis. Bronchitis chronica.	2,68	161	0,05
72. Tns., Stud. jur., 27 J.	Pneum. chron., vor 7 Wochen Haemoptys.	3,32	178	0,05
73. Gld., Cigarrenarb., 35 J.	Phthisis pulm. chron. mit Emphysem.	2.39	147	0.05
74. Drng., 38 J.	Phthisis pulm.	3,96	209	0,08
75. Wdf., 22 J.	do.	4,50	310	0.04
76. Brdn., 47 J.	do.	2,81	164	0,05
77. Kch., 29 J.	do.	1,88	104	0.04
78. Ptzld., 22 J.	Phthisis pulm. et laryng.	4,57	593	0.04
79. Kls., 42 J.	do.	3,66	95	0,06
80. Mdf., Schriftsetzer, 31 J.	do.	3,06	167	0,06
81. Frl. Jngm., 20 J.	Phthisis pulm.	2,78	138	0.04
82. Frl. Schfr., 17 J.	do.	3,95	405	0,05
83. Frau Sprlg., 41 J.	Phthisis pulm. et laryng. in vorgeschrittenem Stadium.	2,76	107	0,05
84. Dieselbe, unmittelbar nachher.	Im Zustand der Ermüdung und Abspannung.	3,63	192	0,06
85. Frau Csr. 35 J.	Alte geheilte chron. Pneum.	3,95	597	0,07
86. Wck., Stubenmaler, 28 J.	Pneum. chron. sehr leichten Grades, zur Zeit fast ohne	5,06	229	0,07

Relative Füllungsdifferenz zwischen Systole u. Diastole der Arterie. $\left(\frac{2b}{a}\right)$	Kraft des Pulses. Hubhöhe (Pulsgrösse) mal gehobenem Gewicht. Grm.-Mm.	Bemerkungen.
1 45	0.04.115 = 4.60	
1 45.8	0.03.160 = 4.80	
1 26.8	0.05.81 = 4.05	
1 33	0.05.114 = 5.70	
1/24	0.05.79 = 3.95	
1 24.8	0.08.75 = 6.00	
1 56.2	0.04.100 = 4.00	
1 28.1	0.05.85 = 4.25	
1 23.5	0.04.60 = 2.40	
1 57	0.04.70 = 2.80	
1 30.5	0,06.35 = 2.10	
1 25 5	0.06.65 = 3.90	
1 35	0.04.70 = 2.80	
1 39.5	0.05.68 = 3.40	
1 27.6	0.05.70 = 3.50	
1 30	0.06.50 = 3.00	
1 28	0.07.220 = 15.40	
1 36	0.07.55 = 3,85	

Name und Alter.	Krankheit.	Fülle resp. Durchmesser des Pulses (a). Mm.	Spannung des Pulses (s). Grm.	Grösse des Pulses, resp. Höhe der Pulswelle (b), reducirt auf Mm.
	Beschwerde u. nicht abgemagert.			
87. Schrr., 18 J.	Pleurit. Schwarte.	4,00	313	0,04
88. Mchd., 36 J.	Emphys. pulm.	5,60	860	0,06
89. Frl. Nrhf., 26 J,	do.	4,75	706	0,09
90. Frau Grwd., 35 J.	Asthma nervos. Emphys. pulm.	3.75	154	0,04
91. Dieselbe, ca. $^1/_2$ J. später.		6.28	469	0,07
92. Lhm., 14$^1/_2$ J.	Asthma bronch. Emphys. pulm.	3,05	370	0,02
93. Derselbe, 6 Wochen später.		3.12	129	0,04
94. Frau Schnf., 40 J.	Strictura tracheae.	2,74	183	0,03

Relative Füllungsdifferenz zwischen Systole u. Diastole der Arterie. $\left(\frac{2\,b}{a}\right)$	Kraft des Pulses. Hubhöhe (Pulsgrösse) mal gehobenem Gewicht. Grm.-Mm.	Bemerkungen.
1 50	0.04.160 = 6,40	
1/46,6	0.06.185 = 11.10	
1 25.4	0.09.185 = 16.66	
1 46.9	0.04.75 = 3.00	Seit länger als 1 $^1/_2$ Jahren, bei zeitweis. Gebrauch des pneumatischen Apparates kein Anfall; nur einmal eine Andeutung desselben. (Anfälle früher sehr heftig und ausserordentl. häufig, meist alle 3 bis 4 Wochen.) Die Krankheit bestand seit 5 Jahren. Vor 14 Tagen Zwillingsgeburt.
1 45	0.07.170 = 11.90	Kurz nach einem leichten asthm. Anfall, dem ersten seit 2 Jahren.
1 76	0.02.35 = 0,70	
1 39	0.04.75 = 3.00	Nach pneumatischer Behandlung gegenwärtig frei von Dyspnoë.
1/45,7	0,03.102 = 3,06	

X. Betrachtung der bisher gewonnenen Messungsresultate und vorläufige Schlussfolgerungen aus denselben.

Bei meiner früheren Veröffentlichung der bis dahin erhaltenen Messungsresultate habe ich nur die nackten Zahlen mitgetheilt und es mit Fleiss vermieden, allgemeine Schlüsse aus denselben zu abstrahiren. Es leitete mich hierbei hauptsächlich der Gedanke, dass die vorliegenden Beobachtungen noch bei weitem nicht zahlreich genug sind, um eine Ableitung zweifellos feststehender allgemeiner Schlussfolgerungen zu gestatten. Aus demselben Grunde vermied ich es auch, jetzt schon Durchschnittswerthe für die Füllung und Spannung der Radialis, die Pulsgrösse etc. aus dem vorliegenden, mir noch zu spärlich erscheinenden Material festzustellen. Ich glaubte es, dem Studium des aufmerksamen Lesers allein überlassen zu dürfen, sich selbst aus den vorliegenden Zahlen ein ungefähres Bild des Verhaltens der einzelnen Pulswerthe bei Gesunden und Kranken zu construiren.

Allmälig bin ich leider zu der Ueberzeugung gelangt, dass ich hiermit wohl kaum den richtigen Weg eingeschlagen: Zahlen werden selten gelesen, und noch seltener unterzieht sich jemand der Mühe, sich aus ihnen ein selbstständiges Urtheil zu bilden, wenn nicht schon bestimmte Thesen, an deren Hand sie zu prüfen sind, vorliegen.

Ich will es deshalb versuchen, zu sondiren, wie weit das bisher von mir gesammelte Material sich bereits zu allgemeinen Schlussfolgerungen verwerthen lässt. selbst auf die Gefahr hin, dass manche derselben in Zukunft, wenn erst eine grössere Summe von Beobachtungen vorliegen wird, sich als nicht stichhaltig erweisen werden. Ich bin demnach weit entfernt davon, die folgenden Schlüsse als bereits feststehend hinzustellen; sie sollen

nur als vorläufige Thesen dienen, welche auf Grund eines genügend grossen Beobachtungsmaterials weiter zu prüfen sind, und welche sei es als endgültig richtig zu erweisen, sei es durch Correcturen einzudämmen, oder selbst zu widerlegen der Zukunft vorbehalten bleiben muss. Thesen reizen zum Widerspruch; aber der Widerspruch fördert neue Arbeit und wirkt dadurch fruchtbringend. Diesem aussichtsvollen Ziel gegenüber will ich meine bisherigen Bedenken schweigen lassen. Ich will es wagen, voreilig zu erscheinen und in manchen Punkten rectificirt werden zu müssen, um den Zweck, fruchtbare Arbeit anzuregen, besser zu erreichen.

Zunächst handelt es sich darum, die Durchschnittswerthe der Arterienfüllung, Spannung, Pulsgrösse etc. bei gesunden Männern und Frauen aus den vorliegenden Messungen zu berechnen. Das Ergebniss dieser Berechnung habe ich in Tabelle III übersichtlich zusammengestellt.

1. Die Arterienfüllung bei gesunden Männern, Frauen und Kindern.

Der Durchmesser der Arterie bei gesunden Männern schwankte (Tabelle I) zwischen 3,50 und 6,30 Mm. Indess überschritten unter den 29 Messungen nur 2 den Werth von 6 Mm., und ebenso blieben nur 2 hinter 4 Mm. zurück; so dass die weitaus grösste Zahl zwischen 4 und 6 Mm. schwankte.

Berechnet man die Durchschnittsziffer der 29 Messungen, so erhält man 4,80 als mittleren Durchmesser.

Bei den 10 Frauen der Tabelle II. (No. 30—39) schwankte der Arteriendurchmesser zwischen 3,04 und 4,52. Der mittlere Werth berechnet sich auf 3,82 Mm.

Scheiden wir die Frauen nicht von den Männern, so berechnet sich der Durchschnitt aus einer Gesammtzahl von 39 Messungen auf 4,55 Mm. Nehmen wir dagegen, was wohl vorzuziehen, da in den obigen Tabellen die Zahl der Frauen viel kleiner als die der Männer ist und dadurch denselben gegenüber kein richtiges Aequivalent bietet, das Mittel zwischen den für

Männer und für Frauen gefundenen Durchschnittswerthen, so erhalten wir als mittleren Durchmesser der Radialis bei Erwachsenen 4,31 Mm.

Vergleichen wir diese Zahlen mit bereits anderweitig festgestellten Thatsachen:

In dieser Beziehung liegen bereits Untersuchungen vor und zwar anatomische Messungen an Leichen. Nach C. Krause, dem sich Henle[1]) anschliesst, gehört die Art. radialis ihrem Kaliber nach der Ordnung IV mit einem mittleren Durchmesser von 3,5 Mm. an, der aber nach Henle selbs „vielfachen Wechseln" unterworfen ist. Nun kommt dabei aber in Betracht, dass dieses Mass an den leeren Arterien der Leiche gewonnen ist. Ich habe, wie wir später sehen werden, vielfach an elastischen Schläuchen von etwa gleichem Lumen und gleicher Dicke wie die Art. rad. experimentirt und fand, wie schon a priori zu erwarten, dass wenn sie mit einer Flüssigkeit — Wasser oder Quecksilber — unter einem gewissen Drucke gefüllt werden, sie entsprechend dem letzteren sich mehr und mehr ausdehnen, und dass ein Druck der Flüssigkeit, wie er etwa dem an grossen Thieren beobachteten Blutdruck, oder dem, wie ich ihn am Menschen gefunden, gleich kommt, das Lumen des Schlauches bereits sehr erheblich, ungefähr um $^1/_3$ bis $^1/_4$ erweitert. Fügen wir zu dem obigen, an der Leiche gewonnenen Masse von 3,5 Mm. noch den vierten Theil, als durch die Ausdehnung des Arterienrohrs vermöge des Blutdruckes am lebenden Menschen bewirkt, hinzu, so erhalten wir als ungefähres Durchschnittsmass ca. 4,4 Mm., welches höchst wahrscheinlich noch unter dem Einfluss der Blutwärme vergrössert wird.

Vergleichen wir diese Zahl mit den an gesunden erwachsenen Menschen durch die Pulsuhr gewonnenen Werthen, so sehen wir, dass sie kaum erheblich von denselben abweicht.

---

[1]) Henle: Handbuch der systematischen Anatomie des Menschen. 2. Auflage. Braunschweig. Vieweg 1876. Bd. III. 1. Abtheilung. Gefässlehre. pag. 71 und 143.

Wir haben somit wohl eine Berechtigung, den durch die Pulsuhrmessungen gewonnenen Durchschnittswerthen, obgleich sie aus einem bisher noch relativ spärlichen Untersuchungsmaterial gewonnen wurden, eine gewisse Bedeutung zuzuerkennen. Es wäre gewiss fehlerhaft, sie schon jetzt als feststehend betrachten zu wollen. So viel darf man aber wohl auch jetzt schon ohne Skrupel aussprechen, dass wo erhebliche Abweichungen von den oben gewonnenen Durchschnittszahlen constatirt werden. eine Abnormität mit einiger Sicherheit anzunehmen ist. Wie gross die Abweichung sein muss, um als Abnormität zu gelten, dies lässt sich freilich noch nicht feststellen. Man wird hier unmöglich überall mit gleicher Wage messen dürfen; namentlich wird es auf den Körperbau des Individuums sehr erheblich ankommen: sehr breit gebaute Personen werden im allgemeinen auch weitere Arterien, schmächtige Personen auch schmale Arterien erwarten lassen. Man wird deshalb bei ersteren einen Arterien-Durchmesser für normal halten müssen, der den Durchschnitt bis zu einem gewissen Maximum, das noch festzustellen ist, überragt, bei letzteren einen Durchmesser, der bis zu einer gewissen Minimalgrenze unter den Durchschnitt herabgeht. Trifft man dagegen umgekehrt bei breit gebauten Individuen Pulse unter mittlerem Durchmesser und vice versa, so ist mit um so grösserer Sicherheit eine Anomalie zu constatiren.

Diese Abweichung von der Norm braucht nicht durch eine bestimmte Krankheit verschuldet zu sein, sondern sie kann auch eine Constitutions-Anomalie anzeigen.

Zweierlei nämlich ist bei einem zu kleinen Durchmesser der Arterie zu unterscheiden: Entweder beruht derselbe nur auf einer zu geringen Blutfüllung, kann dann also bei vergrösserter Blutzufuhr zu den Arterien wieder zur Norm zurückkehren; oder er deutet an, dass die Arterien überhaupt zu eng gebaut sind. Dieses letztere Verhältniss repräsentirt eine sehr wichtige Constitutions-Anomalie, die von Virchow mit gutem

Organe mit der Chlorose in Zusammenhang gebracht worden ist. Diese zu enge Anlage der Arterie mit Schwäche des Lebens [illegible] (bisher geschah der Nachweis immer erst auf dem Sectionstisch), ist also mittelst der Pulsuhr sehr leicht möglich.

In gleicher Weise können die Arterien abnorm weit sein, einerseits durch übergrosse Entfaltung, andererseits durch [illegible] weiten Bau. Auch der [illegible] dürfte eine eigene [illegible] darstellen, über die bisher indess noch nichts bekannt geworden ist. Die zu starke Füllung der Arterien, der dann wohl auch eine entsprechende Füllung der Capillaren und Venen entspricht, steht in Beziehung zur Plethora.

Ich darf diese Gelegenheit nicht vorübergehen lassen, um auf die grosse Bedeutung hinzuweisen, welche unseres Erachtens die Untersuchungen und Bestrebungen Beneke's insbesondere die durch genaue Wägungen und Messungen des Körpers und seiner einzelnen Organe einen Einblick in die Verschiedenheit der Constitutionen und in Anomalien derselben zu erschliessen suchte. Beneke und seinen Schülern verdanken wir in dieser Beziehung auch eine grosse Reihe von Messungen des Umfangs der grossen Gefässstämme an Leichen von an den verschiedensten Erkrankungen gestorbenen, aus denen er bereits eine Reihe wichtiger Schlüsse abzuleiten unternehmen konnte[1]). Es wäre zu wünschen, dass diese Untersuchungen von vielen Seiten Nachahmung fänden. Ueber Messungen an der Radialis liegen bisher leider keine Beobachtungen von Beneke vor.

---

[1]) Beneke: Die anatomischen Grundlagen der Constitutionsanomalien des Menschen. Marburg. Elwert'sche Buchhandlung 1878. — Beneke: Ueber das Volumen des Herzens und die Weite der Arteria pulmonalis und Aorta ascendens in den verschiedenen Lebensaltern. Cassel 1879. [illegible] — Beneke: Ueber die Weite der [illegible] Cassel 1879. — Beneke: Die Altersdisposition. Marburg 1879. — [illegible]: Ueber die Lumina der [illegible] Gefässe. Inaugural-Dissert. 1880. Marburg. — [illegible]: Ein Beitrag zur Lehre von der Weite der [illegible] Gefässe und deren Beziehung zu einzelnen Krankheitsformen. Inaug.-Dissert. 1874. Marburg.

Recapituliren wir nochmals die aus den Tabellen gewonnenen Zahlen, so können wir demnach vorläufig als mittleren Durchmesser der Arterie bei Männern 4,80 Mm., bei Frauen 3,82 Mm. bezeichnen. Der Spielraum, in welchem der Arteriendurchmesser bei gesunden Männern schwankt, dürfte zwischen 4—6 Mm., bei gesunden Frauen zwischen 3—5 Mm. zu bemessen sein. Jenseits dieser Minimal- oder Maximalgrenzen dürfte in den meisten Fällen eine Abnormität anzunehmen sein, sei es eine Constitutions-Anomalie, sei es eine durch Krankheit bewirkte Blutleere resp. Blutüberfüllung der Arterie. Ebenso kann aber auch schon die Abnormität wahrscheinlich werden, wenn der Puls sich nahe den äussersten Grenzen hält, ohne sie zu überschreiten, zumal wenn der übrige Körperbau des Individuums mit dem Pulsbefunde contrastirt.

Die Messung an Kindern (Tabelle IV.) ergab folgende Resultate:

Bei einem 6jährigen Knaben betrug der Arteriendurchmesser 1,17 Mm., bei dessen 2jähr. schwächlicheren Bruder 1,80 Mm. Die übrigen Messungen sind an Kindern über 12 Jahren ausgeführt und ergaben einen Durchmesser von über 2,80. Nahe dem 15. und 16. Jahr, mit dem Eintritt der Pubertät, nähert sich der Arteriendurchmesser bereits sehr erheblich dem mittleren Werthe bei Erwachsenen, so in No. 46 bis 53.

Ganz besonders beachtenswerth sind die Ergebnisse bei einem jungen Mädchen, welches ich zu drei verschiedenen Zeiten gemessen hatte: das erste Mal im Alter von 14 Jahren vor Eintritt der ersten Menstruation, das zweite Mal nach 1¼ Jahr, als sie bereits vollkommen entwickelt war, das dritte Mal noch ¼ Jahr später. (No. 45, 46, 47.)

Die Differenzen zwischen den Massen vor und nach der Entwickelung sind sehr erheblich. Was namentlich die Arterienfüllung betrifft, so hat sie zwischen der ersten und zweiten Messung ganz enorm zugenommen, wobei der Arteriendurchmesser von 2,80 Mm. auf 5,22 stieg. Bei der dritten Messung freilich war der letztere nur gleich 3,11 Mm., ist also wesentlich zurück-

gegangen. Man hat hierfür zwei Möglichkeiten der Erklärung: entweder lagen bei der zweiten Messung unbekannte abnorme Zustände vor, welche gerade damals eine übermässige Füllung der Arterien vorübergehend bewirkten; oder diese Zustände sind physiologisch und beruhen auf Circulationsvorgängen während und nach der Pubertät. Irgend ein pathologischer Zustand war niemals bei dem jungen Mädchen beobachtet worden, ebensowenig irgend etwas aussergewöhnliches während der Messung. Ich bin deshalb sehr geneigt, einen physiologischen Grund anzunehmen, dessen Bestätigung freilich erst zahlreiche Untersuchungen bringen können. Ich erkläre mir das abnorme Messungsresultat vorläufig folgendermassen: Während der Entwickelung der jungen Mädchen, die oft sehr schnell von statten geht, entwickelt sich ein Zustand, der gegen den vorher bestandenen gewissermassen eine Plethora darstellt. Der Herzmuskel entwickelt sich schneller als die Gefässwandung (Beneke), und der Blutdruck steigt plötzlich in sehr hohem Grade[1]). Dadurch werden die noch dünnen Gefässwände übermässig ausgedehnt; — daher die grosse Differenz der Gefässfüllung zwischen der ersten und zweiten Messung. Allmälig aber gewinnen auch die Arterienwandungen an Stärke und leisten dem Blutdruck grösseren Widerstand, so dass die mechanische Dehnung derselben eine geringere und ihrem natürlichen Lumen mehr adäquat wird. Hieraus resultirt die Verminderung der Arterienfüllung bei der dritten Messung, bei welcher der Circulationsapparat des jungen Mädchens sich bereits den neuen Verhältnissen, welche die Entwickelung brachte, accommodirt hat. Immerhin bleibt auch jetzt noch der Arteriendurchmesser erheblich grösser als bei der ersten Messung.

2. Die Arterienspannung bei Gesunden.

Die Arterienspannung bei gesunden Männern schwankt in sehr weiten Grenzen, in Tabelle I. zwischen 176 und 656.

---

[1]) Vergl. später die Blutdruckmessung.

Der Durchschnitt aus den 39 Messungen (Tabelle I.) beträgt 419 Gramm.

Dieser Zahl nähern sich die weitaus meisten Werthe; während die Extreme, besonders die Werthe über 500 und unter 200 Gramm relativ selten sind. Bei erwachsenen, anscheinend gesunden Männern habe ich nur einmal unter 200 Gramm gefunden (No. 15): hier lag zwar keine Organerkrankung vor, aber die betreffende Person befand sich zur Zeit in einem auffälligen Zustand psychischer Depression und körperlicher Abspannung; hierauf glaubte ich den geringen Spannungsgrad der Arterien vielleicht beziehen zu dürfen.

Die nächst höhere Ziffer, 224 Grm., welche auch noch einen sehr niedrigen Spannungsgrad bezeichnet, betrifft ein sehr schwächliches Individuum, welches später phthisisch wurde. Dieser Fall nähert sich demnach schon den pathologischen und ist analog den Verhältnissen, die sich auch sonst bei phthisischen Individuen (vergl. später) herausstellten.

Es folgt nun noch eine Person mit 245 Gramm, eine andere mit 280 Gramm, sodann die Mehrzahl (20) zwischen 300 und 555 Gramm und zwar eben so viele zwischen 300 und 400, wie zwischen 400 und 555 Gramm; einen grösseren Spannungswerth als 555 Gramm zeigten nur 4 unter den gesunden erwachsenen Männern.

Bei den gesunden Frauen (Tabelle II. No. 30—39) schwankte die Arterienspannung zwischen 146 und 570.

Der Durchschnittswerth betrug 321 Gramm.

Die weitaus meisten — nämlich 6, also 60 pCt. — hatten eine Spannung zwischen 242 und 376. Nur je zwei überschritten diese Grenze nach oben und unten.

Die Arterienspannung bei Frauen ist demnach geringer als bei Männern.

Bei den Kindern ist die Spannung weit niedriger: bei einem kräftigen 6jährigen Knaben betrug sie 92 Gramm, bei dessen 1 Jahr älterem, aber schwächlicherem Bruder nur 60 Grm.

Kinder über 12 Jahre boten grösstentheils eine Spannung zwischen 100 und 200 Gramm.

Zwei kräftige Knaben von 15 Jahren, die wahrscheinlich schon in der Pubertät waren, überschritten diese Werthe ziemlich beträchtlich: 285 und 342 Gramm; desgleichen ein $14^{3}/_{4}$ jähriger kräftiger, zur Zeit gesunder Knabe, der aber zuweilen an asthmatischen Anfällen litt, mit 269 Gramm Arterienspannung. Hier hatte vielleicht das Asthma zur Spannungserhöhung beigetragen.

Ein hervorragendes Interesse gewährt auch hier wieder die Messung No. 45, 46 und 47 dadurch, dass sie ebenso wie die Arterienfüllung ein Bild liefert für die enorme Veränderung im Circulationsapparat, welche bei jungen Mädchen zur Zeit ihrer Pubertät binnen kurzer Zeit sich geltend macht. Zwischen der ersten Messung (No. 45) dieses Mädchens, als sie noch 14 Jahre alt und unentwickelt war, und der zweiten Messung, die $1^{1}/_{4}$ Jahr später nach vollendeter Reife ausgeführt wurde, ist die Arterienspannung von 170 auf 284 gestiegen, hat sich also um 114, d. i. um etwa $^{2}/_{3}$, vermehrt.

Bei der dritten Messung fand sich die Spannung zwar wieder etwas vermindert, wegen der Abnahme der Gefässfüllung und der Verminderung der peripherischen Widerstände, aber immer noch gegen die erste Messung um mehr als die Hälfte erhöht.

Auch bei den Knaben ist der Contrast ihrer Arterienspannung, verglichen mit der der erwachsenen Männer, auch selbst junger Männer von 17—25 Jahren, die aber bereits voll entwickelt sind, ein sehr erheblicher. Die Messung von Knaben im Alter von $16—16^{1}/_{2}$ Jahren (No. 51, 52, 53) ergab einen Spannungswerth von 155—199 Grm., während bei erwachsenen Männern nur in einem einzigen Ausnahmefall weniger als 200 Grm. beobachtet wurde und 14 junge Männer im Alter von 17—25 Jahren (No. 1—7., ferner No. 16., No. 20., No. 25—29.) einen Durchschnittswerth von 421 Grm., also ziemlich übereinstimmend mit dem mittleren Werthe bei erwachsenen Männern überhaupt (419), darboten.

Es scheint indess, als ob bei den Knaben die Pubertät im allgemeinen sich nicht nur später, sondern auch viel langsamer entwickelt als bei Mädchen. Bei dem 16jährigen Knaben No. 51., der bereits zur Zeit der ersten Messung in der Pubertät begriffen, war diese letztere 1/2 Jahr später noch wenig vorgeschritten, dies zeigt ein Blick auf die Zahlen No. 51. und 52.

Die bedeutende Spannungszunahme mit der Vollendung der Pubertät lässt einerseits auf ein beträchtliches Anwachsen der Herzkraft, bedingt durch Massenzunahme des Herzmuskels (Beneke), anderseits wahrscheinlich auch auf ein zunehmendes Dickenwachsthum der Arterienwandung und stärkere Entwickelung des Capillarsystems schliesen. Ich komme auf diesen Punkt bald noch einmal zurück.

3. Pulsgrösse und Blutvertheilung bei Gesunden.

Bei den erwachsenen gesunden Männern schwankte der Puls zwischen 0,04 und 0,12. Der Durchschnitt beträgt 0,07 Mm.

Bei den gesunden Frauen bewegte sich die Pulsgrösse in den weiten Grenzen von 0,035—0,14, der Durchschnitt ist = 0,06 Mm.

Es scheint nach meinen Untersuchungen, als ob jugendliche Individuen einen grösseren Puls besitzten als ältere.

Besonders auffällig ist das Verhältniss bei Kindern, deren Pulsgrösse an die von den Erwachsenen ganz nahe heranreicht. Schon die 6 und 7jährigen Kinder hatten eine Pulsgrösse von 0,03 und 0,04, die älteren Kinder zwischen 0,03 und 0,10, die meisten 0,05—0,06.

Viel wichtiger als die Zahlen für die Pulsgrösse, sind die Werthe, welche aus dem Verhältniss zwischen Pulsgrösse und Arteriendurchmesser sich berechnen, und welche, wie wir sahen, ein ungefähres Bild der Blutvertheilung im Körper gewähren.

Die Erweiterung, welche der Gefässdurchschnitt auf der Höhe der Pulswelle erfährt, verhält sich zum Gefässdurchschnitt

während des Wellenthales bei gesunden Männern (Tabelle I.) wie 1 : 19—60, bei gesunden Frauen wie 1 : 15,5—64. Berechnet man aus sämmtlichen Beobachtungen den mittleren Werth, so erhält man bei den Männern 0,02984 = 1 : 33,5, bei den Frauen 0,0319 = 1 : 31,3, als Mittel zwischen beiden 1 : 32,4, endlich als Durchschnittswerth aus sämmtlichen 39 Beobachtungen 1 : 32,9.

Die meisten Beobachtungen nähern sich mehr oder weniger dieser Mittelzahl. Bei jugendlichen Individuen ist das Verhältniss meist ein grösseres (bis zu ca. $^1/_{20}$), bei älteren ein kleineres, oder mit anderen Worten bei ersteren ist der Blutumlaufs-Quotient kleiner (20—30), als bei letzteren (mehr als 30). Einige Extreme, welche in den Tabellen enthalten sind, machen auf mich den Eindruck, als ob es sich hier entschieden um Constitutions-Anomalien handelt. Wir sind mit derartigen Untersuchungen ja noch vollständig in den Anfängen und müssen deshalb mit unserem Urtheil vorsichtig sein. Aber so viel glaube ich doch jetzt schon annehmen zu dürfeu, dass es für den körperlichen Haushalt nicht gleichgiltig sein kann, ob solche Extreme innerhalb der Circulation vorhanden sind. Wir kennen bisher derartige Constitutions-Anomalien nicht, weil uns die Mittel fehlten, mit ihnen vertraut zu werden; nichts desto weniger liegen sie vor, und die Folgezeit wird ihre weiteren charakteristischen Merkmale und die Folgezustände, zu denen sie eventuell führen, aufzudecken haben.

Bei den Kindern erhielten wir als Werthe $\frac{1}{19,5}$ bis $\frac{1}{33,4}$, nur bei einem $13^1/_4$jährigen, kräftigen Knaben $\frac{1}{47,6}$ und bei einem jungen Mädchen (No. 46) nach eben vollendeter Entwicklung $\frac{1}{52}$, die meisten Werthe liegen zwischen ca. $\frac{1}{20}$ bis $\frac{1}{30}$.

Die in Rede stehenden Zahlen gewähren, wie ich oben darzuthun mich bemühte, ein annäherndes Bild der Blutverthei-

lung im Körper, indem der Zuwachs, welchen die Arterie während der Systole des Herzens an Blut erhält, ungefähr — d. h. cum grano salis, da auch noch andere sehr wichtige Momente mitwirken[1]) — sich in der Höhe des Wellenberges, verglichen mit dem Inhalt der Arterie während des Wellenthals, ausdrückt. Haben wir beispielsweise den Werth $^1/_{30}$, welcher der Durchschnittszahl nahe kommt, gewonnen, so heisst dies: durch das aus dem Herzen während dessen Systole in die Arterie strömende Blut hat sich der Arterieninhalt in maximo um $^1/_{30}$ vermehrt, oder da die Durchschnitte des Gefässsystems im gesammten Körperkreislauf sich im grossen und ganzen analog verhalten, so verhält sich die Blutmasse, welche der linke Ventrikel während der Systole in die Arterien treibt, zur gesammteu Blutmasse nahezu wie 1 : 30 Dieselbe Blutmasse, d. h. $^1/_{30}$ der gesammten Butmasse, fliesst dann zu gleicher Zeit, d. h. während der Herzsystole resp. Vorhofdiastole aus den Körpervenen in den rechten Vorhof, von diesem während dessen Systole wieder in den rechten Ventrikel, sodann in die Lungen etc. Es besteht demnach in diesem Falle ein Kreislaufsgleichgewicht von $^1/_{30}$. Es sind dann 30 Herzcontractionen erforderlich, um einen einzigen Umlauf der gesammten Blutmasse durch den grossen und kleinen Kreislauf zu bewirken. Von wie eminenter Wichtigkeit nach dieser Betrachtung die gewonnenen Werthe für den Körperhaushalt sich erweisen müssen, scheint mir keiner weiteren Ausführung zu bedürfen.

Besonders nur möchte ich erwähnen, dass die abnorme Grösse oder Kleinheit des Herzens im Verhältniss zur gesammten Blutmasse aus jenen Zahlen so evident sich bestimmen lässt, wie es bisher irgend einer anderen Methode auch nur annähernd unmöglich gewesen ist. Ja es giebt wohl kaum irgend eine Methode, die sich bisher an die Erörterung einer solchen Frage heranwagen konnte.

---

[1]) Vergl. oben p. 56.

Auch hier sind wir in der Lage, an der Hand bereits bekannter, an Leichen gewonnener anatomischer und physiologischer Thatsachen uns ein Urtheil zu bilden, ob die oben gewonnenen Zahlen richtigen Werthen sich nähern.

Nach Bischoff wird die gesammte Blutmenge des menschlichen Körpers auf ungefähr $^1/_{13}$ des Körpergewichts geschätzt. Die Blutmenge, melche mit jeder Systole aus dem linken Ventrikel in die Aorta strömt, lässt sich nach Volkmann auf etwa $^1/_{400}$ des Körpergewichts berechnen. Hieraus folgt, dass jede Systole $^1/_{400} : {}^1/_{13} = {}^{13}/_{400} = {}^1/_{30,8}$ der gesammten Blutmenge den Arterien zuführt, dass also 30,8 Herzcontractionen zum Umlauf des gesammten Blutes erforderlich sind.

Von wie vorzüglichen Autoren diese Zahlen auch stammen, so hüte man sich doch, dieselben für mehr als blosse Schätzungen, die nur auf Untersuchung weniger hierzu verwendeter Individuer beruhen, anzusehen, und es ist noch sehr die Frage, ob bei einem sehr grossen Untersuchungsmaterial. wie es erforderlich ist, um einen gültigen Durchschnittswerth festzustellen, die obigen Zahlen wirklich dem Durchschnitt gesunder Personen entsprechen. Mir will nach meinen Messungen scheinen, dass schon bei Gesunden jene Verthe viel variabler sind, als man gewöhnlich annimmt, oder mit anderen Worten, dass eine ziemlich grosse Breite der Variation innerhalb der Grenzen des gesunden besteht. Um wie-viel müssen jene Werthe bei Krankheiten variiren! Man braucht nur die grossen Verschiedenheiten des Rauminhalts der Herzventrikel bei einzelnen Erkrankungen mit einander zu vergleichen, um hiervon überzeugt zu werden.

Der aus anatomischen und physiologischen Untersuchungen gewonnene Werth 1/30,8 stimmt in auffallender Weise mit dem von mir aus den Pulsuhrmessungen erhaltenen Mittelwerthe $^1/_{32,4}$ sehr nahe überein. Die Abweichungen von diesem Mittel scheinen in einer gewissen Breite noch dem Zustand des gesunden Körpers zu entsprechen, indem für jugendliche Individuen der Blutumlaufsquotient etwa 20—32, für ältere 32—45

und selbst mehr beträgt. Wann und wo die Abnormität beginnt, müssen weitere Untersuchungen lehren.

Die Vergrösserung des Blutumlaufs-Quotienten bei vorgeschrittenem Alter findet eine leichte Erklärung in der von Beneke u. a. nachgewiesenen Thatsache, dass mit zunehmendem Alter — besonders nach dem 40. Jahre (Beneke) — eine Erweiterung der Arterien bei ungefähr gleich bleibendem Herzvolumen eintritt, eine Erweiterung, die wahrscheinlich auf mechanischem Wege durch Elasticitätsverminderung der Gefässwandungen entsteht. Je grösser nun der Inhalt der Blutgefässe ist, um so kleiner wird das Verhältniss werden, um welches sich derselbe durch das mit jeder Systole neu zuströmende Blut vermehrt, um so grösser wird also der Blutumlaufsquotient. Ich habe leider nur eine einzige Messung einer im vorgeschrittenen Alter stehenden Person aufzuweisen, nämlich einer Dame von 65 Jahren; hier war der Blutumlaufsquotient = 56. Ich vermuthe, dass sich auch sonst bei vorgeschrittenem Alter der Quotient hoch beziffern wird.

Im Gegensatz zum vorgeschrittenen Alter, ist bei Kindern, wie wir sahen, der Blutumlaufsquotient im Durchschnitt klein, 20—30. Es könnte den Anschein haben, als ob dies mit den von Beneke ausgeführten Messungen an Leichen in Widerspruch stände. Beneke fand nämlich, dass zur Zeit der Pubertät das Volumen des Herzens verhältnissmässig viel stärker wächst als der Umfang der grossen Arterien. Würde mit dem Volumen des Herzens auch sein Lumen in gleichem Verhältniss wachsen, so müsste daraus resultiren, dass zur Zeit der Pubertät der Blutumlaufsquotient viel kleiner wird, als er im Kindesalter gewesen. Nun haben wir thatsächlich zur Zeit der Pubertät und überhaupt im jugendlichen Alter einen relativ kleinen Quotienten gefunden; aber dass derselbe gerade im Kindesalter grösser wäre, geht aus meinen Untersuchungen nicht hervor. Höchstens könnte die Beobachtung No. 45 und 47 in diesem

Sinne verwerthet werden, indem bei einem jungen Mädchen, die vor und nach der Pubertät gemessen wurde, der Blutumlaufsquotient sich nach derselben in etwas vermindert zeigte, aber so, dass ein gerade entgegengesetztes Stadium dazwischen liegt. Ich glaube indess, wir dürfen die Beneke'schen Werthe nur in der Weise deuten, dass mit der Pubertät die Muskelmasse des Herzens, nicht sein Lumen, ein verhältnissmässig starkes Wachsthum erfährt. Beneke selber scheint seinen Befund in diesem Sinne aufzufassen, indem er aus demselben auf ein plötzliches Anwachsen des Blutdrucks während der Pubertät schliesst. Mit dieser Auffassung stimmen auch die Ergebnisse meiner Untersuchungen überein: mit der Pubertät wächst sehr wesentlich die Spannung in den Arterien (s. oben) und die Pulskraft. In dem Beispiel No. 45, 46 und 47 stieg während der Pubertät innerhalb $1\frac{1}{2}$ Jahr die Arterienspannung von 170 auf 284 resp. 259, die Pulskraft sogar von 1,50 auf 6,60, also auf mehr als das 4fache.

Die Untersuchung No. 51 und 52 bei einem in der Pubertät begriffenen Knaben ergab freilich ein abweichendes Resultat; aber hier war die Pubertät auch bei der zweiten Messung noch nicht vollendet, und es mögen vielleicht auch schwächende Einflüsse auf den Knaben zur Zeit eingewirkt haben.

4. Die relative Blutumlaufgeschwindigkeit und der Blutwechsel-Coefficient bei Gesunden.

Dividiren wir die mittlere Pulsfrequenz, etwa 70 in der Minute, durch den oben gewonnenen Durchschnittswerth des Blutumlaufsquotienten bei gesunden erwachsenen Personen, so berechnet sich die mittlere Blutlaufgeschwindigkeit auf $\frac{70}{32,4} = 2,16$, d. h. innerhalb einer Minute wird die gesammte Blutmasse 2,16 mal arterialisirt.

Bei jugendlichen Individuen und namentlich bei Kindern

ist diese Zahl wesentlich grösser; denn einerseits ist die Pulsfrequenz grösser, andererseits der Quotient kleiner. Setzen wir hier die Pulsfrequenz = 80 und den Blutumlaufsquotienten beispielsweise = 25, so erhalten wir $\frac{80}{25} = 3{,}2$. Unter Umständen kann die Ziffer selbst auf 5 steigen, wenn beispielsweise bei einer Pulsfrequenz von 100 der Blutumlaufsquotient nur 20 beträgt.

Bei älteren Personen gestaltet sich dagegen die relative Blutumlaufgeschwindigkeit wesentlich herabgesetzt, da einerseits die Pulsfrequenz vermindert, anderseits der Blutumlaufsquotient grösser zu sein pflegt. Z. B. wenn bei einer Pulsfrequenz von 60 der Quotient 40 beträgt, so erhalten wir die Ziffer $\frac{60}{40} = 1{,}5$.

Wir können diese Zahlen uns auch derart umrechnen, dass wir bestimmen, wie viel Sekunden erforderlich sind, um einen Blutumlauf zu vollenden, d. h. wie gross der Blutwechsel-Coefficient ist. Derselbe ist, wie oben des näheren ausgeführt, $= \frac{60q}{f}$, wenn q den Quotient und f die Pulsfrequenz repräsentirt. Fügen wir die obigen Zahlen ein, so erhalten wir bei gesunden erwachsenen Personen den Blutwechsel-Coefficienten $= \frac{60 \,.\, 32{,}4}{70} = 27{,}8$ Sekunden.

Bei jugendlichen Personen und namentlich Kindern wird der Blutwechsel-Coefficient wesentlich kleiner; so beträgt er im obigen Beispiel bei 80 Pulsfrequenz und 25 Blutumlaufsquotient $\frac{60 \,.\, 25}{80} = 18{,}75$ Sekunden.

Bei älteren Personen wächst der Coefficient dagegen an; so erhält er beispielsweise bei 60 Pulsfrequenz und 40 Blutumlaufsquotient den Werth von $\frac{60 \,.\, 40}{60} = 40$ Sekunden.

Ich glaube, dass diese Zahlen besser als irgend welche andere Verhältnisse uns über die Blutcirculation in verschiedenen Lebensaltern aufzuklären vermögen. Sobald wir erst eine richtige Norm gewonnen haben werden, werden gewisse Constitutions-Anomalien und Krankheiten in der Abweichung von dieser Norm sich am allervorzüglichsten charakterisiren.

5. Pulskraft und Pulsarbeit bei Gesunden.

Die Pulskraft bei gesunden erwachsenen Männern schwankt bei unseren Messungen (Tabelle I) zwischen 4,20 und 18,45. Der Durchschnitt beträgt 9,00. Die meisten Werthe nähern sich dieser Durchschnittszahl. Im ganzen darf man 7—12 Gramm-Millimeter als die mittleren Werthe bezeichnen. Kleinere Werthe charakterisiren im grossen und ganzen schwächlichere, grössere Werthe kräftigere Individuen.

Bei Frauen ist die Pulskraft kleiner: sie schwankte zwischen 2,625 und 16,80 und betrug im Durchschnitt 8,30.

Das Mittel zwischen Männern und Frauen beträgt 8,65; das Mittel aus sämmtlichen Beobachtungen an gesunden Männern und Frauen zusammengenommen 8,82.

Kinder zeigen viel kleinere Werthe: im Durchschnitt 1,5 bis 3,5 Gramm-Millimeter. Nur die kräftigeren 15—16jährigen Individuen, die bereits in der Pubertät sich befinden, haben eine viel grössere Pulskraft, 4,80—7,84, die sich hier bereits der der Erwachsenen nähert.

Ganz ähnlich verhält sich die Pulsarbeit, welche das Produkt von Pulskraft und Pulsfrequenz darstellt.

Setzen wir die mittlere Pulsfrequenz bei erwachsenen Männern 70, bei Frauen 75, so erhalten wir als Durchschnittswerth der Pulsarbeit in einer Minute bei ersteren 70 . 9,00 = 630, bei letzteren 75 . 8,30 = 622 Gramm-Millimeter.

6. Der Puls bei Herzkranken.

Ich habe bisher nur an einer relativ geringen Zahl von Herzkranken Pulsmessungen vorgenommen. Dennoch sind die gefundenen Ergebnisse bereits charakteristisch genug, um die vollste Aufmerksamkeit zu verdienen.

Die Insufficienz der Aortenklappen und die Stenose so wie Insufficienz der Mitralklappen stehen sich als diametrale Gegensätze nach allen Richtungen gegenüber.

a. Insufficienz der Aortenklappen mit Hypertrophie des linken Ventrikels.

Die Insufficienz der Aortenklappen zeichnet sich zunächst aus durch die abnorme Grösse des Pulses. Der grösste Puls, den ich überhaupt bisher beobachtet habe, nämlich 16 Mm. Ausschlag am Zeiger, also 0,16 Wellenhöhe, betrifft einen Mann mit Insufficienz der Aortenklappen (No. 54). Auch die anderen drei Männer mit derselben Erkrankung zeigen gleichfalls grosse Pulse: 0,09, 0,10 und 0,13 Mm.

Die abnorme Grösse des Pulses wird dadurch bedingt, dass die Differenz zwischen Wellenthal und Wellenberg aussergewöhnlich gross ist, indem einerseits während der Diastole des Herzens die Arterien sich nicht nur nach der Peripherie, sondern theilweise auch nach dem Herzen zu entleeren, andererseits sie während der Systole eine vermehrte Blutmenge aus der dilatirten Herzkammer zugeführt erhalten.

Auch die mittlere Füllung der Arterien ist bei Insufficienz der Aortenklappen abnorm gross. Der Durchmesser der Radialis in den 4 beobachteten Fällen betrug 5,90, 6,05, 6,15 und 6,85; es sind — mit einer einzigen Ausnahme (No. 68) — die grössten Arteriendurchmesser, welche ich überhaupt beobachtete. Unter den gesunden erwachsenen Männern waren es nur drei, welche einen Arteriendurchmesser zwischen 5,90 und 6,30 zeigten. Die obigen Zahlen entfernen sich weit vom Mittel.

Die starke Arterienfüllung, nicht nur während der Systole

des Herzens, sondern selbst der mittlere Füllungsgrad, um den es sich hier handelt, ist wohl unzweifelhaft durch die abnorme mechanische Dehnung der Arterienwand während der Herzsystole allmälig hervorgerufen, indem dauernd aus dem dilatirten und hypertrophischen Ventrikel das Blut in einem übermässig grossen Quantum und mit erhöhter Kraft in die Aorta geworfen wird.

In gleicher Weise wie die Pulsgrösse und die Arterienfüllung ist auch die Arterienspannung abnorm erhöht. Die gefundenen Werthe in den fünf Fällen (No. 54 bis 58) überragen nicht nur weit das Mittel, sondern sie repräsentiren (wiederum abgesehen von No. 68) theilweise überhaupt die höchsten Zahlen, welche ich beobachtete: In einem Falle erreichte die Spannung den wahrhaft colossalen Werth von 1112 Grm., in einem anderen 1097, in dem dritten 938. In einem Falle mit Compensationsstörung des Herzens war die Spannung noch gleich 695. Die geringste Spannung endlich, welche ich in einem Falle beobachtete, war 600 Grm.; auch diese überragt noch das Mittel.

Die erhöhte Arterienspannung ist kein Symptom der Aortenklappen-Insufficienz an sich, sondern nur der sie begleitenden Hypertrophie des linken Ventrikels. Wahrscheinlich trägt auch eine Verdickung der Arterienwandungen, allmälig bewirkt durch den andauernden Insult der excessiven Dehnung, zu dem Effect der Spannungs-Erhöhung grossentheils mit bei. Eine solche Verdickung und erhöhte Spannung der Arterienwandung muss gleichsam als das compensatorische Gegengewicht gegen die Herzhypertrophie aufgefasst werden.

Die grösste Arterienspannung, welche ich beobachtete, betrifft einen Fall (No. 58), in welchem die Insufficienz der Aortenklappen noch mit Stenose des Aorten-Ostiums complicirt war. Durch diese Complication waren die übrigen Erscheinungen der reinen Aortenklappen-Insufficienz nothwendig verwischt: wegen des gestörten Blutzuflusses durch das verengte Ostium war der Puls klein, desgleichen die Arterienfüllung eine

relativ geringe. Aber die Arterienspannung war trotzdem eine excessive, einmal wegen der sehr bedeutenden Hypertrophie des linken Ventrikels, sodann wegen der wahrscheinlich starken Verdickung der Arterienwandung.

Der Blutumlaufsquotient betrug in den vier reinen Fällen von Aortenklappen-Insufficienz mit Herzhypertrophie 19,2, 23, 30,2, 38. Er ist also trotz der bedeutenden Grösse des Pulses nicht merklich vermindert. Diese Thatsache ist einfach dadurch zu erklären, dass ungefähr in gleichem Verhältniss wie die Pulsgrösse auch die mittlere Arterienfüllung sich erhöht hat, also auch $\frac{2\,b}{a}$ (vergl. oben p. 53), sich dem entsprechend wenig geändert hat. Nur in dem einen Falle mit Compensationsstörung des Herzens (No. 57), wo der Puls nur = 0,09 Mm., ist der Blutumlaufsquotient offenbar abnorm gross (38) — wegen des durch die Compensationsstörung nunmehr bestehenden Missverhältnisses zwischen verminderter Pulsgrösse und vermehrter Arterienfüllung.

Die Pulskraft ist, entsprechend der erhöhten Arterienspannung so wie der vergrösserten Pulswelle, in den reinen, gut compensirten Fällen von Insufficienz der Aortenklappen abnorm gross: 17,60, 21,45, 23,0. In dem Fall mit Compensationsstörung ist sie abnorm niedrig: 5,49. Dieser Contrast illustrirt am besten den Zustand der Compensationsstörung.

In dem sehr complicirten Falle No. 58 ist die Pulskraft gleichfalls relativ gering, und zwar wegen der niedrigen Pulswelle.

b. Stenosis ostii venosi sinistri und Insufficienz der Mitralklappe.

In meiner Tabelle befinden sich 5 Fälle von Stenosis ostii venosi sinistri mit 7 Messungen.

Bei allen fällt zunächst die geringe Höhe der Pulswelle auf. Die Pulsgrösse betrug in 4 Fällen bei der ersten Messung: 0,025, 0,02, 0,01, 0,02 und nur in einem Falle, wo die Stenose nur sehr unbedeutend und gut compensirt war, 0,06,

Aehnlich der Pulsgrösse ist auch die Arterienfüllung herabgesetzt. Der Arteriendurchmesser beträgt in den 5 Fällen: 3,05, 1,70, 2,50, 3,10, 3,36; ist also überall ziemlich weit unter dem Durchschnitt.

Der kleine Puls bei der Stenosis ostii venosi sinistri erklärt sich leicht durch die verminderte Blutmenge, welche mit jeder Systole den Arterien zufliesst, der geringe Arteriendurchmesser durch die Verminderung der Blutmasse in den Körperarterien gegenüber ihrer grösseren Anhäufung in den Lungen und im Venensystem.

Wie weit in dem einen oder dem anderen Falle auch noch eine angeborene Enge des Arteriensystems, welche ja ihrerseits zu Herzkrankheiten disponirt macht (Virchow), bestehen mag, lässt sich aus den bisherigen Beobachtungen nicht eruiren.

Die Spannung der Arterien ist gleichfalls herabgesetzt; sie betrug 255, 181, 100, 193 und nur in einem sehr complicirten Falle, in welchem neben der Stenosis ostii venosi sinistri wahrscheinlich auch noch eine Stenosis ostii arteriosi sinistri und, was hier hauptsächlich in Betracht kommt, eine Hypertrophie des linken Ventrikels bestand (No. 65) 459.

Die verminderte Arterienspannung wird hauptsächlich durch die verminderte Herzkraft und die zu geringe Füllung des linken Ventrikels bewirkt; denn die Spannung der Arterien hängt ja zu einem grossen Theil davon ab, wie gross das Produkt von Herzmuskelkraft und der durch dieselbe mit jeder Systole in Bewegung gesetzten Blutmasse ist.

Mit zunehmender Compensation, die sich nicht nur auf den linken Vorhof und den rechten Ventrikel, sondern, wenn sie vollständig sein soll, auch auf den linken Ventrikel erstrecken muss [1]), erhöht sich die Herzkraft sowohl als die Herzfüllung und mit ihnen die Arterienspannung.

Ein schönes Beispiel von Compensation unter pneu-

---

[1]) Vergl. oben p. 55.

matischer Behandlung bietet der Fall 59 und 60, in welchem die Arterienspannung von 255 auf 528 anwuchs, und auch die übrigen Masse sich günstig gestalteten. Ich komme auf diesen Fall, so wie auf die übrigen in Folge der eingeschlagenen Therapie modificirten Ergebnisse später noch näher zurück.

Mit der verminderten Arterienspannung und dem zu kleinen Pulse correspondirt, wie sich erwarten lässt, die Pulskraft. Auch diese ist abnorm niedrig: 3,375, 3,00, 0,85; in dem gut compensirten Falle No. 64 beträgt sie auch nur 4,80, in dem complicirten Falle mit Hypertrophie des linken Ventrikels 5,60.

Der Blutumlaufsquotient ist sehr vergrössert, zum Theil selbst enorm hoch, so in dem mit Asthma complicirten Falle No. 63, wo er auf 125 angewachsen ist. In den übrigen Fällen betrug er bei der ersten Untersuchung: 84, 61, 42,5 und nur in dem einen gut compensirten Falle (No. 64) 25,8.

Diese Abnormität des Blutumlaufsquotienten giebt das treffendste Bild von der Grösse der Circulationsstörung, welche in den betreffenden Krankheitsfällen statt hatte.

Nehmen wir an, die Person mit dem höchsten Quotienten hätte auch einen sehr frequenten Puls gehabt, etwa 125 (dies stimmt nahezu mit der Wirklichkeit überein), so würde sie selbst in diesem Falle einer vollen Minute bedürfen, um ihre gesammte Blutmasse zu arterialisiren, ihr Blutwechselcoefficient wäre also = 60 Sekunden, während in der Norm derselbe etwa = ca. 28 Secunden wäre [1]). Die Consequenzen für weitere Symptome, z. B. Dyspnoe, Cyanose etc., und für den Stoffwechsel ergeben sich hieraus von selbst, ohne dass ich dieselben weiter auszuführen brauche.

Aehnlich der Stenosis ostii venosi sinistri verhält sich in allen Stücken die Insufficienz der Mitralklappen.

Ich habe zwar nur einen einzigen bezüglichen Fall zu zwei verschiedenen Zeiten gemessen; aber dennoch lässt sich diese Behauptung wagen, da beide Krankheiten ihrer Natur nach

---

[1]) Vergl. p. 99.

analoge Kreislaufsstörungen veranlassen müssen: Bei der Stenose erhält der linke Ventrikel und somit das Körperarteriensystem eine verminderte Blutmenge zugeführt, weil das Ostium venosum sinistrum verengt ist; bei der Mitralinsufficienz empfängt zwar der linke Ventrikel bei seiner Diastole eine genügend grosse, ja selbst eine vermehrte Blutmenge aus dem dilatrirten Vorhof; aber von dieser strömt nur ein Theil in die Aorta, der übrige regurgitirt in's Atrium. Bei der Stenose sowohl wie bei der Insufficienz ist die Blutfüllung der Körperarterien eine zu geringe; bei beiden tritt dafür eine grössere Blutansammlung in den Lungen, und wenn das Leiden hochgradig ist, in den Körpervenen ein. Bei beiden macht sich die Compensation zunächst durch Hypertrophie des mechanisch dilatirten linken Vorhofs, sodann des rechten Ventrikels geltend; vollständig ist sie aber erst dann, wenn auch der linke Ventrikel dilatirt und hypertrophirt ist [1]).

Die Kranke mit Insufficienz der Mitralklappe, deren Puls ich mass, untersuchte ich zu zwei verschiedenen Zeiten: einmal, als eine Compensationsstörung eingetreten war, das andere Mal bei ziemlich guter Compensation.

Im Zustand der Compensationsstörung (No. 67) betrug ihr Arteriendurchmesser 2,80 Mm., ihre Pulsgrösse 0,03 Mm., der Blutumlaufsquotient 47 (für ein 19jähriges Mädchen eine enorme Zahl); 11 Monate früher, als ihr Herzleiden ziemlich gut compensirt war, waren die analogen Masse 4,30, 0,05, 43.

Die Spannung dagegen war in den 11 Monaten von 190 auf 283, die Pulskraft von 3,25 auf 6,60 angewachsen, dies beweist, dass trotz der inzwischen eingetretenen Compensationsstörung die Compensationsarbeit doch noch, sei es noch vor Eintritt der Störung, sei es nachher zum Ausgleich derselben, fortgedauert hatte. In der That wurde die Compensationsstörung später wieder ausgeglichen, und die Patientin befindet sich gegenwärtig in einem leidlichen Zustand.

---

[1]) Ueber den Vorgang dieser Compensation vergl. oben p. 55.

c. Andere Circulationskrankheiten.

Unter den Kranken, deren Puls ich untersuchte, befindet sich auch eine Frau mit Insufficienz der Tricuspidalklappe, welche längere Zeit auf meiner Abtheilung in der Charité behandelt wurde.

Es ist unmöglich, aus einer einzigen Beobachtung ein allgemeines Urtheil zu fällen, und um so weniger möchte ich gerade in diesem Falle einen solchen Versuch wagen, als die erhaltenen Messresultate ganz aussergewöhnlich von der Norm abweichen. Ich will zudem hinzuzufügen nicht unterlassen, dass mir selbst später Zweifel an der Richtigkeit dieser Messung aufgestiegen sind, da dieselbe zu einer Zeit ausgeführt wurde, als meine Uebung und Erfahrung in der Messungsmethode noch eine geringe war. Ich wollte mir damals den seltenen Fall nicht gern für die Pulsuntersuchung entgehen lassen, wohl wissend, dass sich sobald für die Untersuchung des gleichen Klappenfehlers keine Gelegenheit bieten werde.

Die Ergebnisse in diesem Falle sind folgende: Arterienfüllung 7,50 Mm., Pulsgrösse 0,09 Mm., Arterienspannung 1030 Grm., Blutumlaufsquotient 41,7, Pulskraft 15,30 Gramm-Millimeter.

Mit der abnorm grossen Spannung im Einklang stand die Form der Pulswelle, in welcher jede Spur von Dikrotie fehlte.

Dieser abnorme Befund lässt sich, wenn anders kein Messungsfehler vorliegt, nur dadurch erklären, dass zum Ausgleich des Klappenfehlers eine bedeutende Hypertrophie des linken Ventrikels stattgehabt hat. Hieraus würde die erhöhte Arterienspannung theilweise resultiren, während sie zum anderen Theil durch die in der Peripherie abnorm erhöhten Widerstände — nämlich durch das sich zurückstauende Blut und den erhöhten Druck in den Venen — veranlasst wird. Derselbe Umstand würde die grosse Füllung der Arterien erklären. Trotz des grossen Pulses ist der Blutumlaufsquotient relativ gross, ein Zeichen dafür, dass die Blutmasse des linken Ventrikels im

Verhältniss zur Menge des Blutes im grossen Kreislauf noch immer verringert ist.

Zu diesen abnormen Massen hat sicherlich auch die vorgeschrittene Gravidität viel beigetragen. Pat. befand sich zur Zeit im 6. Monat der 6. Schwangerschaft.

Während der Gravidität scheint die gesammte Blutmasse überhaupt in den meisten Fällen vermehrt zu sein und namentlich im grossen Kreislauf die Blutfülle zu überwiegen. Dadurch wachsen die peripherischen Widerstände für den Kreislauf, und hieraus erklärt sich sowohl die abnorm grosse Gefässspannung wie auch die Zunahme der Arterienfüllung. Nimmt man an, dass in jeder Schwangerschaft die Blutgefässe im grossen Kreislauf abnorm gefüllt sind, so muss mit der häufigen Wiederkehr der Schwangerschaft bei einer Frau das Blutgefässsystem allmälig eine mechanische Dehnung erfahren und sich erweitern. Dass dies thatsächlich bei den Venen der Fall ist, beobachten wir tagtäglich an den nach Schwangerschaften zurückbleibenden Varicositäten. Wahrscheinlich dürften in unsrem Falle, wo bereits die sechste Graviditas bestand, und durch den Herzfehler das Blut noch intensiver in die Körpervenen und Capillaren sich zurückstaute, auch die Arterien einen Verlust an Elasticität und dadurch eine abnorme mechanische Erweiterung erfahren haben.

Ein anderer Fall betraf einen 63jährigen Mann, der die Symptome pericarditischer Verwachsungen darbot. Hier war der Arteriendurchmesser = 3,60 Mm., die Pulsgrösse = 0,04 Mm., die Spannung = 360 Grm., der Blutumlaufsquotient = 45, und die Pulskraft = 4,60. Alle diese Masse erklären sich durch die gestörte Arbeitsleistung des Herzens.

Von Interesse ist noch ein Fall, betreffend ein 23jähriges Mädchen[1]), welches auf meiner Abtheilung in der Charité an Typhus behandelt wurde, in dessen Reconvalescenz die Zeichen

---

[1]) Ich habe diesen Fall in den Charité-Annalen von 1877 beschrieben. Verlag von August Hirschwald. 1879.

eines beginnenden Morbus Basedowii hervortraten. Kurz vor dem Verlassen des Krankenhauses nach längst vollendeter Reconvalescenz vom Typhus bot sie folgende Pulsmasse: Arteriendurchmesser 2,75, Pulsgrösse 0,03, Arterienspannung 197, Blutumlaufsquotient 45,8, Pulskraft 4,80.

Den auffallend geringen Arteriendurchmesser möchte ich weniger auf die durch den vorangegangenen Typhus bewirkte Anämie, als vielmehr auf eine angeborene Enge der Arterien oder Chlorose im Virchow'schen Sinne beziehen; denn schon im Anfang des Typhus hatte der tastende Finger den Eindruck einer auffallenden Enge der Arterie. Der kleine Puls und mehr noch der grosse Blutumlaufsquotient zeigen sodann eine hervorstechende Kleinheit des Herzens an; endlich lassen die verminderte Arterienspannung und geringe Pulskraft auf eine verminderte Leistung des Herzens, vielleicht auch auf Dünnwandigkeit der Arterien, eine der Chlorose gleichfalls zukommende Eigenthümlichkeit, schliessen.

7. Der Puls bei Erkrankungen der Respirationsorgane.

a. Lungenschwindsucht.

In unserer Tabelle befinden sich 15 Fälle (mit 16 Messungen), von denen 11 an mehr oder weniger vorgeschrittener Lungenphthisis, darunter auch einige gleichzeitig an Kehlkopfschwindsucht, ferner 3 an chronischer Pneumonie der Oberlappen, endlich einer (No. 71) zwar nur an chronischer Bronchitis litt, aber eine hereditäre Disposition zur Phthisis und einen ausgesprochenen phthisischen Habitus besass. Fast alle diese Kranken boten auffallende Pulsabnormitäten dar:

Zunächst war bei der weitaus überwiegenden Zahl derselben die Arterienfüllung vermindert, und zwar bei einigen in sehr hohem Grade. Bei einem 29jährigen Manne mit vorgeschrittener Phthisis betrug der Arteriendurchmesser nur 1,88,

in fünf Fällen nur zwischen 2 und 3 Mm., in weiteren 6 Fällen zwischen 3 und 4 Mm. Bleiben nur noch 3 Fälle, in welchen 4 Mm. überschritten wurden. Von diesen erreichen zwei (4,50 und 4,57) gleichfalls noch nicht das Mittel, und nur einer hat einen normalen Arteriendurchmesser von 5,06. Dieser eine (No. 84) ist aber nur mit einer chronischen Pneumonie sehr leichten Grades, welche bereits in der Besserung begriffen ist und keine erheblichen Krankheitssymptome mehr verursacht, behaftet.

Die Verkleinerung des Arterienumfangs bei Phthisikern lässt sich einfach durch Anämie, oder sagen wir präciser durch die Verminderung der gesammten Blutmasse erklären. Ob daneben auch noch in einer Reihe von Fällen eine angeborene Enge der Arterien besteht, und diese mit zu dem Symptomencomplex einer zur Phthisis disponirenden Constitutions-Anomalie gehört, lasse ich vorläufig dahingestellt.

Gleich der Arterienfüllung ist auch die Pulsgrösse herabgesetzt. Nur in 3 Fällen erreicht sie den normalen Werth von 0,07 und 0,08, und unter diesen 3 Fällen sind zwei mit schon geheilter oder gebesserter chronischer Pneumonie, nur einer mit wirklicher Phthisis. In zwei ferneren Fällen ist die Pulsgrösse noch = 0,06. In 6 Fällen dagegen ist die Pulswelle nur 0,05 Mm., in 4 Fällen nur 0,04 Mm. gross.

Der Blutumlaufsquotient schwankt zwischen 24 und 57, und zwar ist er in 9 Fällen kleiner als 30, in 4 Fällen zwischen 30 und 40, in zwei Fällen 56,2 und 57.

Aus den verhältnissmässig noch ziemlich hohen Ziffern des Quotienten in der grösseren Zahl der beobachteten Fälle ist es nicht erlaubt, den Schluss zu ziehen, dass ein relativ grosses Herz vorliegt. Vielmehr erscheint das Verhältniss der mit jeder Systole dem Herzen entstömenden Blutmenge zur gesammten Blutmasse deshalb relativ gross, weil die letztere herabgesetzt ist. Es kann das Herz dabei seinen normalen Inhalt beibehalten haben, oder selbst etwas kleiner als in der Norm sein.

Etwa nur in dem einen Falle No. 74 könnte das Bestehen eines relativ grossen Herzens angenommen werden, weil hier die Arterienfüllung nicht sehr stark herabgesetzt (= 3,96), dagegen die Pulshöhe = 0,08, also ziemlich gross, wenigstens etwas grösser als der Durchschnitt, und der Blutumlaufsquotient 24,8 klein ist.

In einigen anderen Fällen, namentlich No. 75 und 78, ist man dagegen entschieden berechtigt, aus den Messungsresultaten auf das Bestehen eines kleinen Herzens zu schliessen. Hier waren die Arterien relativ gut gefüllt (4,50 und 4,57), dagegen die Pulshöhe nur sehr klein (0,04) und der Blutumlaufsquotient dem entsprechend abnorm gross (56—57).

Die Arterienspannung war in den weitaus meisten Fällen sehr bedeutend vermindert, in einem Falle selbst bis auf 95 Gramm, in zwei anderen Fällen auf 104 und 107 Gramm. Im ganzen erreichte sie in 9 Fällen nicht 200 Gramm, in weiteren 3 Fällen nicht mehr als 310 Gramm. Es bleiben demnach nur 3 Fälle (20 pCt.), in welchen grössere Spannungswerthe beobachtet wurden und zwar 405, 593 und 597 Gramm. Die letzte dieser Zahlen erhielt ich bei einer Kranken mit bereits geheilter chronischer Pneumonie, so dass also nur zwei Kranke mit wirklicher Phthisis übrig bleiben, deren Arterien relativ stark gespannt waren. Die verminderte Spannung in der weitaus grössten Mehrheit der Fälle ist vornehmlich auf eine Herabsetzung der Herzleistung zu beziehen.

Auf derselben Ursache beruht wohl auch zum grössten Theil die Herabsetzung der Pulskraft, die in allen Fällen, mit einer einzigen Ausnahme, welche die bereits geheilte chronische Pneumonie betrifft, sich weit unter dem Mittel bewegt: In 4 Fällen war die Pulskraft kleiner als 3 Gramm-Millimeter, in weiteren 6 Fällen zwischen 3 und 4, endlich in 4 Fällen betrug sie 4,05, 4,25, 5,70, 6,0.

Auf den Fall No. 83 und 84, betreffend eine Frau, die ich zweimal gemessen, das zweite Mal, während sie sich in einem

Zustand der Ermüdung und Abspannung befand, komme ich später, bei Gelegenheit der Blutdruckmessung, noch näher zurück.

b. Emphysema pulmonum und Asthma.

Vom Emphysema pulmonum finden sich 4 Krankheitsfälle mit 6 Messungen (No. 88—93) in der Tabelle.

Ich betrachte hier nur diejenigen Zahlen, welche ich erhielt, während das Emphysem mit seinen Symptomen deutlich ausgeprägt war, und übergehe vorläufig diejenigen Werthe, welche nach Besserung des Leidens erhalten wurden.[1]

In allen Fällen springt ganz besonders die abnorm hohe Arterienspannung in die Augen: dieselbe betrug bei einem 36jährigen Manne 860 Gramm, bei zwei Frauen (No. 89 und 91) 469 und 706 Gramm, bei einem $14^1/_2$jährigen Knaben sogar schon 370 Gramm. Dem entsprechend ist auch die Pulskraft (ausgenommen der Knabe, bei dem sie abnorm klein ist) relativ gross: 11,10, 11,90 und 16,66 Gramm-Millimeter.

Die Arterienfüllung ist bei einer asthmatischen Frau (No. 91) enorm gross (6,28) und überragt auch bei den übrigen das Mittel: 5,60 bei einem Manne, 4,75 bei einem 26jährigen Mädchen, 3,05 bei einem $14^1/_2$jährigen Knaben.

Die Pulsgrösse ist nur bei dem Knaben abnorm klein (0,02), bei den anderen nahezu normal (0,06 und 0,07), in einem Fall nur unwesentlich das Mittel überschreitend (0,09).

Der Blutumlaufsquotient ist mit dieser einzigen Ausnahme (No. 89), wo er bei einem Pulse von 0,09 = 25,4 ist, vergrössert: er beträgt 45, 46,6, bei dem Knaben selbst 76.

Die Erhöhung der Arterienspannung hängt beim Emphysem wohl zum weitaus grössten Theile von der Vermehrung der Widerstände im Capillar- und Venensystem ab. Die relativ starke Füllung der Arterien stammt aus derselben Ursache. Es besteht ein Missverhältniss zwischen dem Blutquan-

---

[1]) Siehe später: Therapeutische Beobachtungen.

tum, welches im Körperkreislauf enthalten, zu demjenigen, welches mit jeder Systole aus den Lungen in den linken Vorhof, resp. aus der linken Herzkammer in die Aorta fliesst, und zwar zu Ungunsten der letzteren. Dieses Missverhältniss drückt sich auch in dem abnorm grossen Blutumlaufs-Quotienten aus.

Ich vermeide, diesen Gegenstand weiter auszuführen. Für jeden, der sich die Mühe nehmen will, seine volle Aufmerksamkeit auf diesen Gegenstand zu richten, dürften, so glaube ich, die von mir gemachten kurzen Andeutungen genügen, um eine Erkenntniss der Wichtigkeit des Gegenstandes für die Pathologie, namentlich auch für eine individualisirende Diagnostik zu erlangen.

8. Therapeutische Beobachtungen.

Das Streben des Arztes muss in erster Reihe dahin gerichtet sein, möglichst exacte Mittel zu besitzen, um die verschiedenen Stadien einer Krankheit, ihre Verschlimmerung und Besserung, nach einem rein objektiven Massstab zu beurtheilen. Für eine grosse Reihe lokaler Affectionen sind wir, namentlich durch die neuen Untersuchungsmethoden in den Besitz solcher Mittel bereits gelangt, um die Fortschritte oder Rückschritte des lokalen Krankheitsheerdes erkennen zu können. Wo die lokale Untersuchung im Stich lässt oder unzureichend ist, wo es sich um die Beurtheilung des Allgemeinzustandes des menschlichen Körpers handelt, da ist der Arzt vielfach noch mit rein subjectiven, vagen Begriffen — als da sind: das subjective Befinden des Kranken, sein Gesichtsausdruck, seine Hautfarbe etc. — zu rechnen gezwungen. Er soll sich ihrer freilich niemals entrathen; aber deswegen wird er doch immer nach einem objectiven Massstab der Beurtheilung suchen müssen. Einige derartige höchst exacte Hülfsmittel giebt es bereits, vornehmlich das Thermometer und die Wage. Das Thermometer wird kein wissenschaftlicher Arzt mehr entbehren wollen; die Wage wird dagegen leider noch viel zu wenig angewandt, um die Zunahme oder Abnahme des Körpergewichts während der Dauer einer Krankheit zu bestimmen.

Den Hauptmassstab der Beurtheilung für den Verlauf einer Krankheit, namentlich für die Erkenntniss des Allgemeinzustandes bildete schon seit den ältesten Zeiten der Puls, und mit dem vollkommensten Recht; denn nur der Puls allein giebt uns ein richtiges Bild von dem Zustand des Circulationsapparates, und der Circulationsapparat spiegelt mehr als irgend ein anderes Organsystem die allgemeine Körperbeschaffenheit wieder. Sind wir nun im Besitze einer Methode, welche uns objektiv und an der Hand von Zahlen die Veränderungen des Pulses im Verlaufe einer Krankheit zu demonstriren im Stande ist, so haben wir das erstrebte Ziel erreicht, die Functionirnng des Circulationsapparates in den verschiedenen Stadien einer Krankheit objectiv beobachten zu können.

Von besonderem Werthe muss eine solche Methode namentlich für directe Erkrankungen des Circulationssystems sein. So betrachteten wir bereits die Verschiedenheit des Pulses bei einer Kranken mit Insufficienz der Mitralklappe (No. 66 und 67) in verschiedenen Perioden ihrer Krankheit: das eine Mal, als eine Compensationsstörung eingetreten, das andere Mal, als die Herzaffection in einem Zustand ziemlich guter Compensation sich befand.

Noch hervorragender wird unser Interesse, wenn es sich darum handelt, objectiv zu bestimmen, ob unter gewissen therapeutischen Massnahmen der Zustand eines Kranken sich gebessert hat oder nicht.

Ich bin nun bereits in der glücklichen Lage, einige hierauf bezügliche Beispiele beibringen zu können.

1. Der erste Fall betrifft eine 63jährige Frau mit Stenosis ostii venosi sinistri (No. 59 und 60). Als sie in meine Behandlung kam, war der Puls für den tastenden Finger ausserordentlich klein und sehr unregelmässig, die Arterie sehr leer und sehr wenig gespannt. Die Behandlung bestand in Einathmung comprimirter Luft aus meinem transportablen pneumatischen Apparat. Fünf Wochen später war unter erheblicher

Besserung des Allgemeinbefindens der Puls bereits vollkommen regelmässig geworden und erschien schon dem tastenden Finger merklich grösser, die Arterie voller und gespannter.

Es wurde nun die Pulsmessung vorgenommen. Dieselbe ergab noch die für die Stenosis ostii venosi sinistri characteristischen Merkmale; alle Werthe waren sehr klein.

Arteriendurchmesser: 3,05 Mm.
Arterienspannung: 255 Grm.
Pulsgrösse: 0,025 Mm.
Relative Füllungsdifferenz zwischen Systole und Diastole der Arterien: $^{1}/_{61}$; also Blutumlaufsquotient: 61.
Pulskraft: 3,375 Gramm-Millimeter.

Die pneumatische Behandlung wurde noch weiter fortgesetzt. Das subjective Befinden der Kranken liess nichts mehr zu wünschen übrig. Elf Tage später, unmittelbar nach der Einathmung comprimirter Luft, wurde der Puls von neuem gemessen, und folgender Befund notirt:

Arteriendurchmesser: 4,21 Mm.
Arterienspannung: 528 Grm.
Pulsgrösse: 0,055 Mm.
Blutumlaufsquotient: 38.
Pulskraft: 10,28 Gramm-Millimeter.

Der Fortschritt ist in die Augen springend. Fast alle Werthe sind derart vergrössert, dass sie schon der Norm entweder nahe kommen oder sie erreichen, ja selbst übertreffen. So ist der Arteriendurchmesser 4,21 bereits normal, die Arterienspannung und die Pulskraft überragen sogar den Durchschnittswerth, der Blutumlaufsquotient ist für eine 63jährige Frau nicht im mindesten mehr zu gross, und nur die Pulsgrösse allein hat noch nicht den Durchschnittswerth erreicht, aber doch eine solche Höhe, dass sie mit derjenigen vieler gesunder Personen concurrirt.

Nun muss ich freilich noch hervorheben, dass diese hohen Masse theilweise noch auf Rechnung der unmittelbar vorher-

gegangenen Einathmung comprimirter Luft zu setzen sind; aber wie ich bereits früher an einer anderen Stelle demonstrirte[1]), dauert die Erhöhung der Pulsspannung und Pulsfüllung nach jeder neuen Sitzung immer länger und länger an, um endlich stationär zu werden.

Ueber die unmittelbare Wirkung der comprimirten Luft auf den Puls werde ich in einem späteren Kapitel Beobachtungen mittheilen.

2. Frl. Wlf., 15 Jahre alt, gleichfalls an Stenosis ostii venosi sinistri leidend (No. 61 und 62). Auch diese Kranke war zur Zeit der ersten Messung schon drei Wochen in meiner Behandlung, welche gleichfalls in Einathmung comprimirter Luft bestand. Auch bei ihr hatte sich der Puls für den tastenden Finger bereits sehr wesentlich gehoben: er hatte seine Unregelmässigkeit verloren, war voller, grösser und gespannter geworden. Ausserdem waren das Allgemeinbefinden und alle Krankheitssymptome bereits wesentlich gebessert. Die Zeichen der Stenose markiren sich dennoch am Pulse sehr charakteristisch:

Arteriendurchmesser: 1,70 Mm.
Arterienspannung: 181 Grm.
Pulsgrösse: 0,02 Mm.
Blutumlaufsquotient: 42,5.
Pulskraft: 3,00 Gramm-Millimeter.

Nach 11 Tagen, während welcher die pneumatische Behandlung fortgedauert und sich alle Krankheitssymptome weiter gebessert hatten, wird von neuem unmittelbar nach dem Gebrauche der comprimirten Luft der Puls gemessen und ergiebt folgende Werthe:

Arteriendurchmesser: 1,94 Mm.
Arterienspannung: 190 Grm.

---

[1]) Waldenburg: Die pneumatische Behandlung der Respirations- und Circulationskrankheiten im Anschluss an die Pneumatometrie. Spirometrie und Brustmessung. Berlin 1875. Hirschwald. p. 247 ff.

Pulsgrösse: 0,04 Mm.
Blutumlaufsquotient: 24,2.
Pulskraft: 3,12 Gramm-Millimeter.

Auch hier ist eine Besserung nach allen Richtungen nicht zu verkennen. Am wenigsten hat die Arterienspannung zugenommen, nur 9 Grm., desgleichen die Pulskraft; schon sehr bemerklich ist dagegen der Arteriendurchmesser gewachsen, und zwar von 1,70 auf 1,94, also um $^1/_7$, oder berechnen wir besser die Arterienfüllung, d. i. den Querschnitt der Arterien, um $\frac{1}{3,5}$. Besonders erheblich ist die Zunahme der Pulsgrösse, und zwar um das doppelte: von 0,02 auf 0,04. Dem entsprechend ist der für ein 15jähriges Mädchen abnorm grosse Blutumlaufsquotient von 42,5 zur Norm zurückgegangen und zwar auf 24,2. Dieser normale Blutumlaufsquotient, hier ebenso wie im vorigen Falle, demonstrirt am klarsten, wie die Blutcirculation bereits zu einer normalen Funktionirung gelangt ist.

3. Lhm., $14^1/_2$ Jahr alt, leidet seit seinem 5. Lebensjahre an Bronchitis, zu welchem Asthma bronchiale mit Emphysema pulmonum hinzugekommen ist. Seit 6 Monaten fast allnächtlich ein asthmatischer Anfall. Die erste Messung ergiebt folgende Werthe:

Arteriendurchmesser: 3,05 Mm.
Arterienspannung: 370 Grm.
Pulsgrösse: 0.02 Mm.
Blutumlaufsquotient: 76.
Pulskraft: 0,70 Gramm-Millimeter.

Derselbe wird nun mit meinem pneumatischen Apparat behandelt, und zwar gebraucht er sowohl Einathmungen comprimirter Luft wie ganz besonders Ausathmungen in verdünnte Luft. Sein Zustand bessert sich, die Anfälle werden seltener und schwächer. In den Intervallen keine Dyspnoe. Nach sechswöchentlicher Behandlung, während Pat. vollkommen frei von Dyspnoe ist, wird der Puls von neuem gemessen:

Arteriendurchmesser: 3,12 Mm.
Arterienspannung 129 Grm.
Pulsgrösse: 0,04 Mm.
Blutumlaufsquotient: 39.
Pulskraft: 3,00 Gramm-Millimeter.

Die Veränderung der Pulsmasse bietet in diesem Falle ein ganz besonderes Interesse: Der Arteriendurchmesser hat nur unerheblich zugenommen; er entspricht etwa der Norm für das Alter des Patienten.

Die Arterienspannung betrug anfänglich 370 Grm., sie ist auf 129 Grm. zurückgegangen. Dagegen hat sich die Höhe der Pulswelle verdoppelt und entspricht nunmehr etwa der Norm; desgleichen ist auch die Pulskraft sehr wesentlich erhöht und zwar von 0,70 auf 3,0. Ganz besonders wichtig ist die günstige Veränderung, welche der Blutumlaufsquotient erfahren hat. Derselbe besass anfänglich die enorme Höhe von 76 und ist nun fast auf die Hälfte (39) reducirt.

Die Veränderung, welche die Blutcirculation innerhalb der sechs Wochen erfahren, ist in folgender Weise zu deuten: Die anfängliche Arterienspannung war abnorm gross und zwar in Folge der vergrösserten Widerstände in der Peripherie, indem ein grosses Blutquantum in den Venen und Capillaren sich anhäufte und die Fortbewegung des Blutes hemmte. Dieses letztere wird durch die abnorme Höhe des Blutumlaufsquotienten in klarster Weise veranschaulicht. Da im Verhältniss zur Blutmenge, welche im grossen Kreislauf angehäuft war, dasjenige Blutquantum, welches mit jeder Systole aus dem Herzen in die Arterien strömte, relativ klein war, so erreichte der Pulsausschlag, zumal bei der starken Spannung der Arterien, auch nur eine geringe Höhe.

Mit der Besserung der Respirationskrankheit einerseits und in unmittelbarer Folge der pneumatischen Behandlung andererseits gestaltete sich die Blutcirculation so vollständig um, dass sie fast der normalen entsprach. Der Blutumlaufsquotient ging

fast auf die Hälfte herab; d. h. das Verhältniss zwischen dem Quantum des mit jeder Systole aus dem Herzen strömenden Blutes zu dem des Arteriensystems wurde zu Gunsten des ersteren, fast auf das doppelte des ursprünglichen Werthes, vergrössert. Dies ist ein Beweis dafür, dass das Missverhältniss im Blutlaufsgleichgewicht, welches in einer Rückstauung und Anhäufung des Blutes in den Venen und Capillaren bestand, sich verringert hat. Die Norm ist freilich auch jetzt noch nicht erreicht; aber die Zahl ist doch dem Durchschnittswerth näher gerückt als zuvor.

Mit der Vermehrung der Blutmenge im linken Ventrikel hat auch die Grösse des Pulses um das doppelte zugenommen. Die Arterienspannung dagegen hat trotzdem sich erheblich vermindert und zwar sicherlich nicht wegen einer etwaigen Verminderung der Herzkraft, sondern einzig und allein weil die abnormen Widerstände in der Peripherie sich vermindert und dem entsprechend auch das Herz weniger Arbeit zu leisten hat, um die Circulation bei dem zum Leben nothwendigen Blutdruck im Gange zu erhalten. Trotz der verminderten Spannung hat denn auch die Pulskraft nicht nur nichts eingebüsst, sondern selbst erheblich gewonnen.

So gewährt uns denn die Analyse der Pulsbefunde einen so weit tragenden Einblick in die Verhältnisse des Blutumlaufs, dass wir an der Hand zahlenmässiger Belege die vollste Klarheit über die wichtigsten Einzelheiten desselben gewinnen.

4. Frau Gwld, 35 Jahre alt, litt an Asthma nervosum mit Emphysem. Als sie mich zum ersten Male consultirte, waren seit 5 Jahren die asthmatischen Anfälle mit grosser Heftigkeit aufgetreten, so dass sie meist alle 3—4 Wochen von einem heftigen Anfall heimgesucht wurde und nur selten bis zu 5 Wochen frei war. Dieselbe wurde von mir mit dem pneumatischen Apparate behandelt und zwar sowohl mit Einathmungen comprimirter wie Ausathmungen in verdünnte Luft. Sofort mit dem Eintritte der Behandlung besserte sich das Leiden, das

bisher allen Mitteln getrotzt hatte, in eclatantester Weise: die Anfälle kamen nur noch in geringer Intensität und in immer grösseren Intervallen wieder, bis sie endlich ganz fortblieben. Zur Zeit, als ich die erste Pulsmessung ausführte, hatte Pat. seit 1½ Jahren keinen einzigen ausgesprochenen asthmatischen Anfall und nur ein einziges Mal eine leichte Anwandlung desselben gehabt. Ausserdem war das Emphysem, wie sämmtliche Untersuchungsmethoden nachwiesen, geschwunden, und Pat. konnte die schwerste Arbeit ohne jede Spur von Dyspnoë verrichten. Sie befand sich demnach in einem Zustand von relativ guter Gesundheit.

Die Pulsmessung ergab folgende Werthe:

Arteriendurchmesser: 3,75 Mm.
Arterienspannung: 154 Mm.
Pulsgrösse: 0,04 Mm.
Blutumlaufsquotient: 46,9 Mm.
Pulskraft: 3,00 Gramm-Millimeter.

Von diesen Zahlen erinnert keine mehr an diejenigen Eigenthümlichkeiten, welche dem Emphysem zukommen. Namentlich ist die Arterienspannung eine so geringfügige, dass ihr zufolge keine grossen Widerstände in der Peripherie vorhanden sein konnten, welche sonst das hauptsächlich charakteristische Moment der gestörten Circulation beim Emphysem darstellen. Im Gegentheil erscheint die Spannung sogar abnorm klein. Desgleichen ist auch die Blutfüllung und die Pulsgrösse kleiner, als die breit gebaute Person von vorn herein hätte erwarten lassen. Nur der Blutumlaufsquotient ist grösser als im Durchschnitt, wenn auch für das Alter der Patientin keineswegs sehr erheblich erhöht.

Die Erklärung für die verminderte Arterienspannung, Arterienfüllung und Pulsgrösse ergiebt sich in diesem Falle sehr leicht aus dem Umstand, dass die Frau 14 Tage zuvor von Zwillingen entbunden worden war. Trotz der kurzen Zeitdauer seit ihrer Entbindung ging die Frau bereits aus und verrichtete

alle ihre Arbeiten. Die Anämie des Puerperiums drückt sich demnach in den obigen Werthen aus.

Etwa ein halbes Jahr später kam sie wieder zu mir, um von neuem behandelt zu werden, da sie in der letzten Nacht einen leichten asthmatischen Anfall, den ersten seit zwei Jahren, gehabt hatte.

Ich mass nun zum zweiten Mal ihren Puls, der nunmehr vollkommen veränderte Werthe zeigte:

Arteriendurchmesser: 6,28 Mm.
Arterienspannung: 469 Gramm.
Pulsgrösse: 0,07 Mm.
Blutumlaufsquotient: 45.
Pulskraft: 11,90 Gramm-Millimeter.

Ausserordentlich vergrössert hat sich die Arterienfüllung und Arterienspannung, die Pulsgrösse und Pulskraft. Alle diese Werthe entsprechen nunmehr etwa der Norm bei kräftigen und namentlich bei breit gebauten Personen, ausgenommen der Arteriendurchmesser, welcher bei weitem die Norm der Fraueu übertrifft.

Ich lasse es dahin gestellt, wie weit der Nachts zuvor aufgetretene asthmatische Anfall an der abnormen Vermehrung der Arterienfülle mit die Schuld trägt. Jedenfalls ist er, wenn überhaupt, nur im geringen Grade dabei betheiligt, da er weder sehr intensiv noch von langer Dauer war. Vielmehr besteht offenbar, wie auch schon der Anblick der Patientin vermuthen lässt, eine Plethora sanguinis — im Gegensatz zu der Anämie der ersten Messung. Möglicherweise ist auch eine dauernde Dilatation der Gefässe durch das früher fünf Jahre hindurch bestandene Asthma und Emphysem, welches den Blutreichthum im Körperkreislauf erhöht, bewirkt worden, welcher Annahme der geringe Arteriendurchmesser zur Zeit der ersten Messung nicht widerspricht, da dieser nur durch eine herabgesetzte Blutmenge bedingt war. Auch der relativ grosse Blutumlaufsquotient sowohl bei der ersten wie bei der zweiten Messung könnte

in diesem Sinne gedeutet werden. Ich halte es aber noch nicht für erlaubt, dies mehr als vermuthungsweise auszusprechen, da erst noch weitere Beobachtungen nach dieser Richtung hin abgewartet werden müssen, um ein sicheres Urtheil zu gestatten.

Die Arterienspannung bei der zweiten Messung übertrifft nur wenig das Durchschnittsmass. Es ist wahrscheinlich, dass sie durch den kurz vorher gegangenen asthmatischen Anfall etwas vermehrt worden ist.

5. Unter den von mir mittelst der Pulsuhr untersuchten Personen befand sich auch eine an Hemicranie leidende Frau (No. 39 und 40), welche mit günstigem Erfolge Einathmungen von Amylnitrit gebrauchte. Ich benutzte diese Gelegenheit, um die Wirkung dieses Mittels auf den Puls zu studiren:

Unmittelbar vor der Inhalation zeigte sie folgende Werthe:

Arteriendurchmesser: 3,50 Mm.
Arterienspannung: 255 Gramm.
Pulsgrösse: 0,04 Mm.
Blutumlaufsquotient: 43,7.
Pulskraft: 6,00 Gramm-Millimeter.

Es wurden ihr nunmehr einige Tropfen Amylnitrit (3 bis 5 Tropfen) zum Einathmen dargereicht. Es trat die bekannte Wirkung der Gesichtsröthung ein, und während sie noch unter dieser Wirkung stand, wurde der Puls von neuem gemessen, und es ergaben sich nunmehr folgende Zahlen:

Arteriendurchmesser: 4,45 Mm.
Arterienspannung: 375 Gramm.
Pulsgrösse: 0,05 Mm.
Blutumlanfsquotient: 44,5.
Pulskraft: 7,00 Gramm-Millimeter.

Wir constatirten demnach eine erhebliche Zunahme des Arterien-Durchmessers und zwar von 3,50 auf 4,45, d. i. um 0,95 Mm., also mehr als $^1/_4$ des ursprünglichen Werthes. Rechnen wir dies auf das Verhältniss um, in welchem der Arterien-

Durchschnitt, d. i. die Arterienfüllung zugenommen, so erhalten wir: $\frac{2 \cdot 0{,}95}{3{,}50} = 54$ pCt.

Die Zunahme der Blutfüllung der kleinsten Gefässe beim Gebrauch des Amylnitrits war bisher hinlänglich bekannt. Durch unseren Versuch ist eine gleiche, sehr bedeutende Zunahme des Füllungszustandes auch der grösseren Arterien zahlenmässig dargethan.

Neben der Arterienfüllung finden wir auch die Arterienspannung erhöht. Dies ist offenbar durch die Zunahme der Blutfüllung in den Capillaren und kleinsten Arterien und die dadurch bewirkte Erhöhung der peripherischen Widerstände zu erklären.

Mit der Vermehrung der Blutfülle und der Arterienspannung scheint die Erhöhung der Pulsgrösse von 0,04 auf 0,05, die freilich nur geringfügig ist, in einigem Widerspruch zu stehen. Wir müssen annehmen, dass nach der Einathmung des Amylnitrits die Arterienwand an sich schlaffer und ausdehnungsfähiger und aus diesem Grunde die Pulswelle höher, aber dafür die Wellenlänge kleiner geworden ist.

Der Blutumlaufsquotient würde unter diesen Umständen nicht mehr das Verhältniss zwischen der vermehrten Blutmenge in den Arterien und der verminderten Blutmenge im Herzen zur richtigen Anschauuug bringen. In der That erscheint er erhöht (von 43,7 auf 44,5), aber dennoch nicht in dem Masse, wie es sich nach der Vermehrung der Blutfülle erwarten liess. Eine weitere Schwierigkeit liegt in der Annahme, die wir machten, dass die Arterienwand schlaffer geworden sei, während doch die Gesammtspannung der Arterie höher gefunden wurde. Es müssten demnach die Widerstände in der Peripherie die Spannung so erheblich erhöhen, dass dieselben die Erschlaffung der Arterienwandung bei weitem aufwiegen.

Ich verhehle mir nicht, dass die Schwierigkeiten, gerade den vorliegenden Befund zu erklären, durchaus noch nicht völlig

überwunden sind. Um so misslicher erscheint es, eine einzige einschlägige Beobachtung zum Massstab der Beurtheilung zu besitzen. Ich theile sie deshalb auch nur in der Absicht mit, weitere Untersuchungen nach dieser Richtungen hin anzuregen. Erst wenn eine Reihe von Beobachtungen in dieser Beziehung vorliegen, werden sich wohl die anscheinenden Widersprüche heben, und dann erst werden allgemeine Schlüsse gestattet sein.

XI. Beobachtung der Puls-Veränderungen.

Bei den bisherigen Untersuchungen haben wir nur absolute Pulsmasse, sei es bei verschiedenen Individuen, sei es bei demselben Individuum zu verschiedenen Zeiten gewonnen. Nun giebt es eine grosse Zahl von Fragen, die nur dadurch gelöst werden können, dass wir erforschen, welche Veränderung der Puls innerhalb einer einzigen Sitzung durch gewisse Einflüsse erfährt.

Für solche Untersuchungen müssen exacte Methoden festgestellt werden, und ich halte es für eine sehr dankbare Aufgabe, an der Vervollkommnung grade dieser Methoden zu arbeiten. Ich will es versuchen, diejenigen Gesichtspunkte, welche mir die wichtigsten scheinen, hervorzuheben.

I. Eine Zunahme oder Abnahme der Arterienspannung lässt sich am besten beobachten, wenn ein genügend grosser Druck auf der Arterie lastet. Will man nur die Zunahme oder Abnahme an sich constatiren, ohne das absolute Mass der Veränderung zu verzeichnen, so ist es am besten bei nahezu comprimirter Arterie, wo der Puls dem Erlöschen nahe ist, oder selbst an dem Punkte, wo er so eben verschwunden ist, zu untersuchen.

Bei Zunahme der Spannung erhält der bereits zum Stillstand gelangte oder nur noch schwach pulsirende Puls neue

Triebkraft, und der Zeiger wird wieder eine Strecke — oft mehrere Centimeter weit — zurückgetrieben; umgekehrt bei Abnahme der Spannung wird der noch vorhandene Puls zum Schweigen gebracht, und der Zeiger weicht noch weiter nach vorwärts — oft gleichfalls um mehrere Centimeter.

Will man jedoch die Höhe der Arterienspannungs-Aenderung zahlenmässig feststellen, so empfiehlt es sich mehr, bei unvollständig comprimirter Arterie, etwa wenn dieselbe eben das Maximum ihres Pulsausschlages überschritten hat, die Beobachtungen anzustellen. Wenigstens, wenn eine Druckabnahme beim Experiment zu erwarten ist, ist dieser Modus vorzuziehen, weil dann der Pelotte noch Raum genug übrig bleibt, um nach unten ausweichen zu können.

Ist nämlich die Arterie bereits comprimirt, so kann beim Nachlassen des Drucks die Pelotte nur dadurch noch weiter vorrücken, dass sie die Weichtheile noch mehr, als schon geschehen, comprimirt. Endlich findet sie einen Widerstand, den sie mit dem vorhandenen Druck nicht mehr zu überwinden vermag. Auch hier lässt sich zwar noch exact messen, um wie viel der Druck abgenommen hat. Man muss dann nämlich, wenn die Pelotte stillsteht, am Schlüssel langsam zurückdrehen und abwarten, in welchem Moment der grosse Zeiger mit dem kleinen gleichfalls zurückzugehen beginnt. Hier sind wir dann bei dem gesuchten Druckwerth angelangt, den wir mit dem ursprünglichen zu vergleichen haben.

Wenn diese letztere Methode auch genau ist, so ist sie doch unbequem, besonders für diejenigen Untersuchungen, bei welchen es sich um sehr schnell eintretende Spannungsdifferenzen handelt. Dagegen ist sie als die exactere auszuführen, wo die Veränderungen in der Arterienspannung langsam genug auftreten, um Zeit für diese subtilere Messungsmethode zu gestatten.

Handelt es sich um Zunahme der Arterienspannung, so fallen die genannten Schwierigkeiten ganz weg, und man misst

am besten, wenn der Puls dem Verschwinden nahe ist. Der Weg, um welchen der grosse Zeiger zurückweicht, zeigt den Grad der Spannungszunahme in Gramm an.

II. Bei ganz entgegengesetztem Stande der Pelotte muss gemessen werden, wenn es sich darum handelt, Füllungsdifferenzen der Arterie nachzuweisen.

Soll eine Vermehrung oder Verminderung des Arterienumfangs an der Pulsuhr in die Erscheinung treten, so ist es vor allen Dingen nothwendig, dass kein Druck, oder nur ein minimaler, auf der Arterie lastet, so dass der freien Entwicklung ihrer Oberfläche ein Widerstand nicht entgegengesetzt wird. Dies ist der Fall, wenn die Pelotte nach ihrer ersten Einstellung die Haut über der Arterie berührt und so eben der grosse Zeiger die erste Spur der Pulsation anzuzeigen beginnt.

Lässt man nun das Instrument bei dieser Einstellung beharren, so macht sich jede Vergrösserung oder Verkleinerung des Arteriendurchmessers am grossen Zeiger bemerkbar: Nimmt die Füllung der Arterien zu, so wird die Pulsation deutlicher. der Ausschlag am grossen Zeiger etwas grösser, und meistens weicht dieser um ein weniges zurück; nimmt dagegen die Füllung ab, so verschwindet die begonnene Pulsation.

Will man nun messen, um wie viel sich der Durchmesser der Arterie vergrössert oder verkleinert hat, so geschieht dies in folgender Weise:

1. Bei Vergrösserung des Arteriendurchmessers sehen wir die Pulsation deutlicher werden und den grossen Zeiger meist etwas zurückweichen. Man schraube nun sehr langsam und vorsichtig am Schlüssel zurück bis zu dem Punkte, an welchem die Pulsation wieder erlischt. Der Weg, um welchen der grosse Zeiger zurückgegangen, ist gleich dem Zuwachs, welchen der Durchmesser der Arterie erhalten hat.

Um bequem die Differenz messen zu können, ist es rathsam, die Pelotte so einzustellen, dass die Berührung der Haut

nicht bei Null, sondern etwa eine halbe bis eine Umdrehung später statthat.

2. Tritt eine Verminderung der Blutfüllung ein, so verschwindet, wie wir sahen, die bereits begonnenene Pulsation. Ist bereits ein kleiner Druck vorhanden, so bewegt sich dabei die Pelotte ein wenig nach unten, und dem entsprechend rückt der grosse Zeiger vor. Ist noch kein Druck vorhanden, so bleibt der Zeiger pulslos stehen.

Nunmehr dreht man am Schlüssel, wiederum sehr langsam und vorsichtig, nach vorwärts, immer den grossen Zeiger fest im Auge. In dem Moment, in welchem dieser die ersten Pulsationen wieder anzuzeigen beginnt, höre man mit dem Drehen auf: der Weg, welchen der grosse Zeiger hierbei zurückgelegt, entspricht dem gesuchten Werth.

Ich will nicht unterlassen, darauf aufmerksam zu machen, dass bei diesen Messungen der Zunahme und Abnahme der Arterienfüllung eine Fehlerquelle vorhanden ist. Dieselbe besteht darin, dass nicht die Vermehrung resp. Verminderung des Arteriendurchmessers für sich allein gemessen wird, sondern gleichzeitig auch die Vermehrung resp. Verminderung des Füllungsgrades der Capillaren an der zu messenden Stelle mit einbegriffen ist. Der Fehler, der dadurch entsteht, ist aber wohl, namentlich bei mageren Personen, so unerheblich, dass er das Endresultat sicherlich nicht wesentlich beeinflusst; denn die Weichtheile an der Stelle, wo die Radialis gemessen wird, haben nur einen sehr geringen Dickendurchmesser, und überdies werden sie ja schon durch den sehr geringen Anfangsdruck der Pelotte, bevor .die Pulsation sich zeigt, comprimirt. Sehr vollsaftige und fette Personen sind freilich gerade für Experimente nach dieser Richtung hin nicht brauchbar.

III. Veränderungen der Pulsgrösse misst man grösstentheils am besten, während der Pulsausschlag sein Maximum erreicht hat.

1. Handelt es sich um ein Experiment, bei welchem gleich-

zeitig die Arterienspannung vermehrt wird, so wähle man diejenige Einstellung, bei welcher der Puls eben sein Maximum zu erreichen beginnt. Denn würde man denjenigen Punkt wählen, bei welchem der Puls zwar noch das Maximum des Ausschlags liefert, aber bereits seinem Kleinerwerden nahe ist, so könnte es leicht geschehen, dass das Anwachsen des Drucks während des Versuchs ausreicht, um bereits den Puls in der Entwicklung zu seiner vollen Grösse zu hemmen. Hat man dagegen bei einem geringen Drucke eingestellt, so kann die Vermehrung desselben während des Experiments den Puls nur noch besser zur Entfaltung bringen.

2. Umgekehrt in einem Experiment, in welchem die Spannung herabgesetzt wird, wähle man diejenige Einstellung, bei welcher der Puls zwar noch sein Maximum inne hat, aber doch schon nahe daran ist, bei Druckvermehrung kleiner zu werden. Eine Verminderung der Spannung während des Experiments kann dann immer noch innerhalb derjenigen Breite erfolgen, in welcher der Puls sein Maximum zu behaupten vermag. Eventuell kann man ja noch durch Drehen am Schlüssel sich überzeugen, ob bei Vermehrung des Druckes der Puls seine Grösse ändert.

Würde man in einem solchen Falle diejenige Einstellung wählen, bei welcher nur der geringste Druck vorhanden ist, der eben noch ausreicht, um das Maximum der Pulsation hervorzubringen, so würde bei Nachlass der Spannung während des Experiments der übrig bleibende Druck nicht mehr ausreichen, um die volle Grösse des Pulses zum Vorschein zu bringen, und wir würden einen kleineren Puls erhalten, selbst wenn er in Wirklichkeit grösser geworden wäre als zuvor.

In folgendem will ich die Resultate einer Reihe von Experimenten mitttheilen, die nach den eben dargelegten Gesichtspunkten ausgeführt worden sind.

XII. Wirkung der Respiration auf den Puls.

Die Wirkung der Athmung auf den Puls, und zwar sowohl tiefer Inspirationen und forcirter Exspirationen, als auch des Valsalva'schen und des Müller'schen Versuchs, lässt sich an der Pulsuhr mit einer solchen Klarheit ad oculos demonstriren und selbst einem grossen Zuschauerkreis gleichzeitig zugänglich machen, wie es bisher auf einem anderen Wege nicht möglich gewesen ist. Der Sphygmograph zeigt zwar auch schwarz auf weiss die Veränderungen an; aber diese bedürfen zu ihrem Verständniss erst einer richtigen Deutung, und dass diese Deutung nicht von allen Autoren in gleichem Sinne ausgeführt wird, darüber haben die Arbeiten der letzten Jahre leider Beweisstücke genug geliefert. An den Ergebnissen mit der Pulsuhr, bei richtiger Ausführung des Experiments, ist dagegen nichts zu deuten und nichts zu beanstanden. Die eingetretenen Veränderungen treten jedem, der sehen kann, zahlenmässig vor die Augen. Schon bei der ersten Demonstration meiner Pulsuhr in der medicinischen Gesellschaft im Frühjahr 1877 gelang es mir, der Versammlung die Veränderungon, welche die Spannung des Pulses durch tiefe Inspirationen, so wie durch den Valsalva'schen und Müller'schen Versuch erfährt, zu demonstriren.

Die im folgenden mitzutheilenden allgemeinen Ergebnisse habe ich in einer grossen Zahl von Beobachtungen mit grosser Regelmässigkeit gewonnen. Die speciellen Messungsresultate, welche ich anführen werde, stammen aus einer Versuchsreihe, welche ich an dem Stud. med. Meltzer ausführte, der mit grossem Interesse an der Sache jede Fehlerquelle zu vermeiden beflissen war.

1. Wirkung tiefer Inspirationen auf den Puls.

a. Lässt man, während der Puls so weit zusammengedrückt ist, dass sein Maximalausschlag bereits überschritten ist, eine

tiefe Inspiration ausführen, so rückt der grosse Zeiger mehr oder weniger weit vorwärts, um meist nach Aufhören der Inspiration in die frühere Stellung wieder zurückzukehren. Lässt man mehrere Male hinter einander tiefe Inspirationen ausführen, so bleibt häufig der Zeiger auch nachher noch während vieler normaler Respirationen in einer etwas vorgerückten Stellung, um erst allmälig seinen ursprünglichen Stand wieder einzunehmen.

War der Puls in dem Moment, in welchem der Versuch ausgeführt wurde, bereits der Compression nahe, so erlosch derselbe mit dem Vorrücken des Zeigers bei tiefer Inspiration vollständig, um erst bei der Exspiration oder bei der späteren normalen Respiration wiederzukehren.

Um so viel wie der grosse Zeiger vorrückte, hat sich die Differenz zwischen dem Weg des kleinen und dem des grossen Zeigers, d. h. die Spannung, vermindert. Wir constatiren demnach in erster Reihe als Folge tiefer Inspirationen Verminderung der Arterienspannung, welche nach wiederholten tiefen Inspirationen auch noch einige Zeit nachher in geringerem Grade andauern kann.

b. Stellen wir dagegen die Pelotte so ein, dass sie die Oberfläche der Arterie, die noch von jeder irgend wie nennenswerthen Compression frei ist, eben berührt, und der erste leise Pulsausschlag sich bemerkbar macht, und wir lassen nunmehr eine tiefe Inspiration ausführen, so verschwindet die schon begonnene Pulsation, und wir müssen am Schlüssel drehen, um die Pelotte ein Stück weiter heruntergleiten zu lassen, ehe wir wieder den Anfang einer Pulsation bemerken. Aus dieser Beobachtung erkennen wir also, dass mit der tiefen Inspiration der Durchmesser und somit die Blutfülle der Arterien sich vermindert hat.

c. Ist endlich die Einstellung der Pelotte eine derartige, dass die Pulsgrösse ihr Maximum erreicht hat, und wir lassen tief inspiriren, so rückt gleichfalls der grosse Zeiger vor, aber

meist weniger als bei der ersten Versuchsanordnung. Achten wir hierbei auf die Pulsgrösse, so beobachten wir, so wie etwa die Höhe der Inspiration eben erreicht ist, ein bis zwei etwas grössere Pulse, die nachher einem kleineren Pulse Platz machen.

Wählen wir ein concretes Beispiel: Herr Stud. med. Meltzer, dessen Puls unmittelbar vor dem Experiment gemessen wurde, zeigte folgende Werthe:

Arteriendurchmesser: 4,14 Mm.
Arterienspannung: 459 Grm.
Pulsgrösse: 0,04 Mm.
Blutumlaufsquotient: 51,7.
Pulskraft: 11,5 Gramm-Millimeter.

Bei tiefer Inspiration verminderte sich seine Arterienspannung um 18 Grm. (Bei anderen Personen erhielt ich viel höhere Werthe, z. B. beim Stud. med. Samuel 25 Grm. bei 327 Grm. Gesammtspannung, also $^1/_{13}$.) Rechnen wir dies in Barometerdruck um, so entspricht dies, wie wir später sehen werden, ca. 33 Mm. Quecksilberhöhe.

Der Arteriendurchmesser verkleinerte sich um 0,18 Mm. Vergleicht man hiernach den Füllungsgrad der Arterien, so beträgt die Füllungsabnahme während der tiefen Inspiration $^1/_{12}$.

Was die Pulsgrösse endlich betrifft, so zeigten sich etwa auf der Höhe der Inspiration ein bis zwei Pulse von 0,05 Mm., die aber, während die Inspiration länger angehalten wurde, einem Pulse von nur 0,03—0,02 Mm. Platz machten. Folgte eine starke Exspiration auf eine tiefe Inspiration, so traten wieder einige grössere Pulse von 0,05 Mm. ein, die dann dem normalen Pulse von 0,04 Mm. wichen.

2. Wirkung forcirter Exspirationen auf den Puls.

a. Ist die Einstellung der Pelotte wie ad a der vorigen Versuchsreihe, und man lässt die Versuchsperson eine forcirte Exspiration oder mehrere schnell auf einander folgende, nur

durch kurze Inspirationen unterbrochene Exspirationsstösse machen, so weicht der grosse Zeiger ein Stück zurück. War die Einstellung derart, dass die Pulsbewegung nur noch eine minimale war, so wird dieselbe zugleich mit dem Zurückweichen des Zeigers merklich grösser. Die Spannung der Arterie ist somit grösser geworden.

b. Ist die Pelotte so eingestellt wie ad b der vorigen Versuchsreihe, und man lässt in der eben angeführten Weise forcirt exspiriren, so rückt der grosse Zeiger meistentheils gleichfalls zurück, aber nur ein geringes, nur wenige Millimeter; immer aber, auch wenn er nicht zurückweicht, wird der Puls etwas grösser und deutlicher. Während vor dem Beginn des Versuchs die Pelotte so eingestellt war, dass jedes Zurückschrauben am Schlüssel, also jedes Zurückweichen des grossen Zeigers den Puls augenblicklich zum Verschwinden brachte, kann man nunmehr während der forcirten Exspirationen den grossen Zeiger um ein ganzes Stück zurückdrehen, ehe die Pulsation erlischt. Der Durchmesser, resp. die Füllung der Arterie hat somit zugenommen.

c. Beobachtet man, wie ad c der vorigen Versuchsreihe, die Veränderungen in der Grösse des Pulses während forcirter Exspirationen, so folgen zunächst beim Beginne der Exspiration ein bis drei Pulse, die grösser sind als bisher, um nachher Pulsen, die kleiner als normal sind, zu weichen.

Die Zahlen, welche ich beim Stud. M. erhielt, sind folgende:

Durch eine forcirte Exspiration oder mehrere schnell auf einander folgende Exspirationsstösse — nota bene bei frei entweichender Luft — vermehrte sich die Spannung um 14 Grm. (bei anderen in viel höherem Grade), was etwa 25,7 Mm. Quecksilberdruck entspricht.

Der Arteriendurchmesser wuchs um 0,21 Mm.; dies kommt einer Füllungszunahme der Arterien um $\frac{2 \cdot 0{,}21}{4{,}14} =$ ca. $\frac{1}{10}$ gleich.

Die Pulsgrösse vermehrte sich während 1—3 Pulsschlägen

von 0,04 auf 0,05 Mm., um nachher auf 0.03—0,02 sich zu verkleinern.

3. Müller'scher Versuch.

Lässt man den Müller'schen Versuch ausführen, d. h. die Brust zu einer möglichst tiefen Inspiration erweitern, während durch Verschluss von Mund und Nase der Zufluss von Luft in die Lungen verhindert ist, so erhält man analoge Resultate wie bei einer einfachen, sehr tiefen Inspiration, nur dass die Abweichungen von der Norm beträchtlich hochgradiger sind. Der Zeiger rückt bei richtiger Einstellung (wie ad a in Versuch 1) um mehrere Centimeter vor.

Sowohl die Arterienspannung wie die Arterienfüllung sinken erheblich, und meist vergeht auch eine gewisse Zeit, selbst viele Minuten, ehe der Puls sich wieder so weit erholt, dass er zur Norm zurückkehrt.

Bei Stud. M. betrug die Spannungsabnahme während des Müller'schen Versuchs 35 Grm., was einer Druckabnahme von 64,4 Mm. Hg. entspricht. Bei anderen Personen beobachtete ich noch viel höhere Werthe.

Der Arteriendurchmesser verminderte sich um 0,32 Mm., also die Arterienfüllung um $\frac{2 \,.\, 0.32}{4,14}$, d. i. ca. 15,5 pCt.

Was die Pulsgrösse betrifft, so beobachtete ich am Anfange der Brusterweiterung ein bis zwei grössere Pulse (ca. 0,05); sodann wurden die Pulse kleiner und kleiner bis zu 0,01, und bei sehr lange fortgesetzter Inspiration blieb nur noch ein Erzittern zurück, ein deutlicher Puls war nicht mehr sichtbar.

4. Valsalva'scher Versuch.

Der Valsalva'sche Versuch, d. h. die nach tiefer Inspiration ausgeführte forcirte Exspirationsbewegung bei gehindertem Austritt der Luft, wirkt analog der einfachen forcirten Exspiration, aber auch hier in weit intensiverem Grade.

Auch hier weicht der grosse Zeiger während des Versuchs (Einstellung ad a u. b) um mehrere Centimeter weit zurück.

Die Arterienspannung sowohl wie die Arterienfüllung werden in hohem Grade vermehrt.

Bei Stud. M. betrug die Spannungszunahme 35 Grm., d. i. gleich einer Druckzunahme von 64,4 Mm. Hg. Der Arteriendurchmesser wuchs um 0,37 Mm., also die Arterienfüllung um $\frac{2 \cdot 0,37}{4,14}$ = ca. 18 pCt.

Die Pulsgrösse sank, nachdem ein einziger grösserer Puls von 0,05 Mm. am Anfang der Exspiration aufgetreten, sehr schnell bis auf 0,01 Mm. herab und verschwand endlich bei kräftig ausgeführtem Versuch fast ganz, so dass nur noch ein Erzittern des Zeigers bemerklich war.

So, wie ich eben beschrieben, ist die Wirkung des Valsalva'schen Versuchs in der weitaus grössten Zahl der Fälle, welche ich beobachtete. Nun trifft man aber hier und da auf Personen, bei welchen eine ganz entgegengesetzte Wirkung beobachtet wird.

Ist die Pelotte eingestellt wie ad a der ersten Versuchsreihe, so rückt ausnahmslos bei allen Personen während der dem Valsalva'schen Versuch vorangehenden tiefen Inspiration der grosse Zeiger vor, indem die Spannung sich vermindert. Beginnt nun die Exspiration, während Mund und Nase geschlossen ist, so weicht, wie wir sahen, in der Regel der grosse Zeiger wegen der eintretenden Spannungserhöhung um mehrere Centimeter zurück. In jenen Ausnahmefällen dagegen rückt der grosse Zeiger, anstatt zurückzuweichen, ganz ähnlich wie beim Müller-schen Versuch noch weiter vorwärts, d. h. die Arterienspannung vermindert sich, anstatt sich zu erhöhen. Gleichzeitig, wenn man die Einstellung ad c wählt, nimmt der Arteriendurchmesser ab, anstatt sich, wie es in der Regel geschieht, zu vergrössern.

Als ich zum ersten Male diese Abweichung von der Regel beobachtete, war ich geneigt, auf eine ungeschickte Ausführung

des Experiments von Seiten der Versuchsperson die Schuld zu schieben. Ich überzeugte mich jedoch, dass dies zwar zuweilen, aber nicht immer der Fall war, und dass in der That eine Ausnahme von der Regel vorlag.

Diese Ausnahmefälle finden auch, wie ich glaube, eine sehr leichte Erklärung. Bei ihnen handelt es sich nämlich um eine Compression der Arteria subclavia vor ihrem Austritt aus dem Thorax. Eine solche Compression der Arteria subclavia während des Valsalva'schen Versuchs ist bereits von den Physiologen vielfach beobachtet und zur Erklärung des Verschwindens des Pulses beim Valsalva'schen Versuch herangezogen worden. Nur halte ich es für nicht richtig, die Compression der Subclavia während dieses Versuchs für die Regel anzusehen; sie kommt nach meinen Erfahrungen nur in der Minderheit der Fälle vor.

Vollends fehlerhaft ist es nun, die Veränderungen, welche der Puls bei solchen Personen mit comprimirter Subclavia während des Valsalva'schen Versuches erleidet, auch auf die übrigen, nicht comprimirten Arterien übertragen zu wollen und daraus Schlüsse auf den gesammten Kreislauf abzuleiten. Hierzu kann nur jemand verleitet werden, der bei seinen nicht zahlreich genug, oder gar nur an einem einzigen Individuum ausgeführten Versuchen zufällig auf einen solchen Ausnahmefall gestossen ist und nun die in diesem Falle gewonnenen abnormen Resultate für die Regel hält und generalisirt.

Auf diese Weise erklären sich mir die vielen widersprechenden Angaben, denen man noch in der Literatur gerade in der uns hier interessirenden Frage begegnet, und die nunmehr hoffentlich ihre endgültige Erledigung gefunden haben.

Erklärung der gefundenen Resultate.

Die Wirkung tiefer Inspirationen und forcirter Exspirationen sowie des Müller'schen und Valsalva'schen Versuches

auf den Puls erklärt sich mit Leichtigkeit aus den Veränderungen, welche der intrathoracische Druck während dieser Versuche erfährt, und dem Einfluss, welchen diese Veränderungen auf das Herz und die grossen blutzuführenden und blutabführenden Gefässstämme ausüben.

Während tiefer Inspirationen wird der intrathoracische Druck noch weiter nach der negativen Seite herabgesetzt, als er ohnehin schon bei einfacher flacher Inspiration ist. In Folge davon ist die Aspirationskraft für den Zufluss des Venenblutes in die rechte Vorkammer erhöht, das Lumen der grossen intrathoracischen Venenstämme erweitert: die Venen entleeren ihr Blut leichter und in grösserer Menge in's Herz. Andererseits wird durch den hohen negativen Druck das Herz in seiner Kraftentfaltung gehemmt und in seiner Contraction beeinträchtigt. Dadurch strömt mit jeder Systole weniger Blut in die Arterien als zuvor. Im grossen Körperkreislauf besteht demnach vermehrter Blutabfluss und verminderter Blutzufluss; das umgekehrte findet in der Thoraxhöhle statt. Es stellt sich demnach während tiefer Inspirationen ein verändertes Kreislaufsgleichgewicht her, bei welchem eine gegen früher verminderte Blutfülle im grossen Kreislauf, eine vermehrte Blutfülle im kleinen Kreislauf statthat.

Aus dem verminderten Blutgehalt resultirt die Verkleinerung des Arteriendurchmessers, welche wir bei der Pulsmessung gefunden. Aus der herabgesetzten Leistung des Herzmuskels einerseits und der verminderten Blutfülle so wie dem erleichterten Blutabfluss in den Capillaren und Venen und der dadurch bewirkten Verminderung der peripherischen Widerstände andererseits resultirt die Abnahme der Spannung in den Arterien.

Beim Müller'schen Versuch sind dieselben Momente massgebend, nur in sehr gesteigertem Masse. Die Druckherabsetzung im Thorax erreicht durch die enorme Luftverdünnung in den Lungen ihr möglichstes Maximum: deshalb erreicht die Verminderung der Blutfülle im grossen Kreislauf und speciell in der

Arterie, deren Durchmesser wir messen, einen viel höheren Grad als bei einfacher tiefer Inspiration; desgleichen wird die Arterienspannung viel stärker als bei letzterer herabgesetzt.

Was die Höhe der Pulswelle betrifft, so kann dieselbe während einiger weniger Herzcontractionen vergrössert sein, und zwar deshalb, weil einerseits eine Verminderung der Spannung der Arterienwand an sich eine höhere Pulswelle begünstigt, andererseits auch ohne dies bei vermindertem Blutgehalt, also bei kleinerem Umfang der Arterien selbst ein bis zu einem gewissen Grade — nur nicht in gleichem Masse — vermindertes Blutquantum, welches mit der Systole des Herzens zuströmt, einen verhältnissmässig höheren Wellenberg erzeugen muss. Erst mit weiterer Abnahme der Herzkraft und mechanischer Erweiterung des Ventrikels auch während der Systole ist das Herz überhaupt nicht mehr im Stande, ein genügend grosses Blutquantum in die Arterien zu treiben, um die frühere Pulsgrösse aufrecht zu erhalten. Der Puls wird kleiner und kleiner, und beim Müller'schen Versuch kann er sogar verschwinden.

Umgekehrt wie tiefe Inspirationen verhalten sich forcirte Exspirationen. Während dieser wird der intrathoracische Druck erhöht, derart, dass er sogar aus einem negativen in einen positiven übergehen kann. Folge davon Verminderung des Umfangs der grossen intrathoracischen Venenstämme, erschwerter und verminderter Blutabfluss aus den Venen in die rechte Vorkammer. Ferner wird die Druckkraft des Herzens anfänglich gesteigert, seine Contraction begünstigt; dadurch der Abfluss des Blutes aus dem Herzen bis zu einem gewissen Grade gesteigert — d. h. bis zu demjenigen Grade, welcher der gerade vorhandenen Drucksteigerung entspricht. Später freilich, bei zunehmender Verstärkung des intrathoracischen Druckes, sinkt dagegen die Herzarbeit, indem der linke Ventrikel nur ein sehr vermindertes Blutquantum mit jeder Systole auszutreiben hat. Auch hier hat sich sehr bald ein Blutlaufgleichgewicht mit veränderter Blutvertheilung hergestellt: Der grosse Kreislauf ist

mit Blut überfüllt auf Kosten des kleinen Kreislaufs. Hieraus erklärt sich die Zunahme des Durchmessers der Arterien, während wahrscheinlich in noch viel höherem Grade auch der Umfang der Venen und Capillaren zugenommen hat. Durch die anfänglich verstärkten Herzcontractionen und besonders durch das Anwachsen der peripherischen Widerstände erhöht sich zugleich die Spannung der Arterien.

Was einfache forcirte Exspirationen in kleinerem Massstab, bewirkt der Valsalva'sche Versuch in sehr erhöhtem Grade. Hier kann die Blutsteigerung im grossen Kreislauf und die Blutverminderung im kleinen eine enorme werden, zumal wenn man den Versuch zu lange ausdehnen lässt. Der Umfang der Arterien muss zunehmen. Die Arterienspannung wächst hauptsächlich wegen der sehr hohen peripherischen Widerstände und der starken Gefässfüllung, während die anfangs gestärkte Herzkraft nur ganz im Beginn zur Steigung der Spannung beiträgt, dagegen im weiteren Verlauf des Versuchs sogar mehr und mehr erlahmen muss und wegen des sehr verminderten Blutquantums, das ihr während der Systole zur Disposition steht, nur eine sehr verminderte Arbeit zu leisten vermag.

Hieraus erklärt sich auch das Verhalten der Pulsgrösse. Nur ganz am Anfang der Exspiration, wo der linke Ventrikel durch die vorangegangene tiefe Inspiration auch mehr als gewöhnlich mit Blut erfüllt ist, dagegen die Arterien noch nicht an Umfang zugenommen haben, macht sich, zumal die Herzkraft dabei verstärkt ist, in einem oder in einigen wenigen Pulsen eine Erhöhung der Welle bemerklich. Mit der zunehmenden Arterienfüllung und dem verminderten Blutzufluss zur Arterie während der Ventrikelsystole wird der Puls kleiner und kleiner, um endlich beim Valsalva'schen Versuch, zumal bei zu langer Ausdehnung desselben, ganz zu verschwinden.

In den Ausnahmefällen, welche ich beobachtet, tritt beim Valsalva'schen Versuch keine Vermehrung der Blutfülle und der Arterienspannung in der Radialis ein, vielmehr das Gegen-

theil, ganz wie beim Müller'schen Versuch. Ich habe diese Fälle bereits durch die Compression der Subclavia zu erklären versucht, und ein Beweis für die Richtigkeit dieser Erklärung ist auch in dem Umstand zu suchen, dass gleichzeitig der Puls in den Arterien des Arms vollkommen verschwindet. In den übrigen Körperarterien, so wie überhaupt im grossen Kreislauf des übrigen Körpers liegen dagegen die gleichen Verhältnisse vor, wie bei allen anderen Individuen; ja es muss die Wirkung auf den übrigen Kreislauf in jenen Ausnahmefällen eine noch viel höhere sein als in der Regel bei anderen, weil das aus dem Thorax herausgestaute Blut bei ihnen wegen der Compression der Subclavia sich auf einen kleineren Raum zu verbreiten gezwungen ist.

XIII. Einfluss des Hustens auf den Puls.

Beim Husten, sowohl beim unwillkürlichen, als bei dem auf Commando ausgeführten, beobachtete ich grösstentheils ganz characteristische Veränderungen des Pulses.

Gleichzeitig mit den Hustenstössen — bei Einstellung der Pelotte wie ad 1 a. der vorigen Versuchsreihe — weicht der grosse Zeiger mehr oder weniger weit zurück, um sofort mit Nachlass des Hustenstosses in eine Stellung vorzurücken, die weit hinter dem ursprünglichen Stande vorgeschoben ist.

Das heisst also: mit jedem Hustenstosse wird für einen Moment die Arterienspannung erhöht, um mit dem Nachlass desselben abnorm vermindert zu werden.

Gewöhnlich bleibt der grosse Zeiger noch einige Zeit, zuweilen selbst Minuten lang, in der vorgerückten Stellung, d. h. die Abnahme der Arterienspannung überdauert den Husten um eine gewisse Zeit.

Die Erklärung für diese Erscheinung liegt ziemlich nahe: es handelt sich hier um die Combination forcirter Exspirationen mit darauf folgenden tiefen Inspirationen. Der Husten ist eine forcirte Exspirationsbewegung, die sogar einige Aehnlichkeit mit einem abgekürzten Valsalva'schen Versuch hat, indem bei der Exspiration, welche den Husten begleitet, die Glottis mehr oder weniger eng geschlossen wird. Auf die Exspirationsbewegung des Hustens folgen regelmässig spontan eine oder mehrere tiefe Inspirationen. Dies sahen wir in der Veränderung, welche der Puls erleidet, wiedergespiegelt, anfangs die Wirkung forcirter Exspirationen in Form der Spannungserhöhung, sodann die Wirkung tiefer Inspirationen als Spannungsverminderung, welche in diesem Falle — zumal bei dem natürlichen Husten geschwächter Personen — für einige Zeit die Oberhand behält.

Bei dem Stud. Meltzer (vergl. oben p. 131) wuchs die Arterienspannung während einzelner, auf Commando ausgeführter, schnell auf einander folgender Hustenstösse an um 10—15 und selbst bis um 25 Gramm, sodann sank sie bis auf 5 bis 25 Gramm unter den ursprünglichen Werth. Es war also eine ausserordentlich grosse Spannungsdifferenz von 50 Gramm = 92 Mm. Quecksilberdruck zwischen der Höhe der Hustenstösse und dem darauf folgenden Druckminimum zu constatiren.

Entsprechend der Arterienspannung verhält sich höchst wahrscheinlich auch die Arterienfüllung, worüber ich indess noch keine exacten Versuche angestellt habe.

Was die Höhe der Pulswelle betrifft, so wurden nur vereinzelte grössere Pulswellen beobachtet, die meisten Pulse waren gegen die Norm an Grösse herabgesetzt.

XIV. Wirkung der comprimirten und verdünnten Luft auf den Puls.

1. Inspiration comprimirter Luft.

Lässt man aus meinem pneumatischen Apparat comprimirte Luft einathmen, so machen die Wirkungen, welche der tiefen Inspiration aus freier Luft zukommen, mehr und mehr, je nach dem Grade, in welchem die eingeathmete Luft verdichtet ist, einem ganz entgegengesetzten Verhalten Platz.

Ist die Luft genügend verdichtet, so weicht bei der Einathmung derselben — wenn die Pelotte wie ad a des ersten Versuchs (vergl. p. 129) eingestellt ist — der grosse Zeiger mehr oder weniger weit zurück, anstatt wie bei der tiefen Einathmung aus freier Luft weiter vorzurücken. Mit jeder folgenden Inspiration weicht anfangs der Zeiger noch mehr zurück, bis er an einem bestimmten Punkte angelangt, diesen nicht mehr überschreitet. Der eingenommene Standpunkt wird auch bei der Exspiration wenig verändert.

Dieses Verhalten beweist, dass die Arterienspannung während der Einathmung comprimirter Luft zugenommen hat.

Beim Stud. M. (vergl. oben p. 131) erhöhte sich die Arterienspannung, während er um $^1/_{40}$ Atmosphärendruck comprimirte Luft einathmete, schon während der ersten Inspiration um 20 Gramm, wuchs dann immer mehr und erreichte nach Einathmung eines vollen Cylinders comprimirter Luft (ca. 40000 Ccm. Luft) einen Zuwachs von 45 Gramm, d. i. eine Drucksteigerung von 82,8 Mm. Quecksilber.

Wählt man die Peloteneinstellung wie ad b des ersten Versuchs, (vergl. p. 130) so constatirt man eine Zunahme des Arteriendurchmessers während der Einathmung der comprimirten Luft. Auch diese Zunahme der Arterienfüllung steigert sich mit jeder folgenden Inspiration, bis ein gewisser Füllungsgrad erreicht ist.

Bei Stud. M. erweiterte sich der Arteriendurchmesser während der Einathmung eines Cylinders um $^1/_{40}$ Atm. Druck. comprimirter Luft um 0,38 Mm. Dies kommt einer Füllungszuzunahme von $\frac{2.0,38}{4,14} = 18,36$ pCt. des ursprünglichen Inhalts gleich.

Was endlich die Wirkung der Einathmungen comprimirter Luft auf die Pulsgrösse betrifft, so beobachtete ich meist am Anfang jeder Inspiration einen einzigen Puls von grösserer Höhe als zuvor (0,05 anstatt 0,04 Mm. bei Stud. M.), sodann eine Verkleinerung der darauf folgende Pulse (0,03 Mm.).

2. Inspiration verdünnter Luft.

Bei der Einathmung verdünnter Luft erhält man die gleichen Wirkungen auf den Puls wie bei lang ausgedehnter sehr tiefer Inspiration in freier Luft, und bei länger fortgesetzten Einathmungen verdünnter Luft oder bei sehr stark verdünnter Luft steigern sich die Wirkungen bis zur Höhe derjenigen, welche man beim Müller'schen Versuche beobachtet.

Als regelmässige Folge der Einathmung verdünnter Luft tritt auf 1) Herabsetzung der Arterienspannung, 2) Verminderung der Arterienfüllung. Beides steigert sich mit jeder folgenden Einathmung immer mehr, bis die Herabsetzung der Spannung und Fülle eine gewisse Höhe erreicht hat.

Bei Stud. M. setzte eine einzige tiefe Einathmung einer um $^1/_{60}$ Athmosphärendruck verdünnten Luft die Spannung um 20 Gramm = 36,8 Mm. Hg. herab, und während der darauf folgenden starken Exspiration blieb noch ein Spannungsverlust von 10 Gramm = 18,4 Mm. Hg. bestehen. Bei der folgenden Inspiration wurde der Spannungsverlust grösser. Ich unterliess es, diesen Versuch bis zu einer bedeutenderen Steigerung des Spannungsverlustes fortzusetzen, da ich eine grössere Anstrengung, welche das Experiment mit sich führte, vermeiden wollte.

Die Untersuchung der Arterienfüllung während der Einathmung verdünnter Luft ergab eine bedeutende Verkleinerung des Arteriendurchmessers, so dass mit jeder neuen Einathmung ein neues minus hinzukam. Durch 7 bis 8 Athemzüge, wobei um $^1/_{60}$ Atm.-Druck verdünnte Luft inspirirt wurde, verkleinerte sich der Arteriendurchmesser um 0,35 Mm., also die Arterienfüllung um $\frac{2 \cdot 0{,}35}{4{,}14} = 17$ pCt.

Die Höhe der Pulswelle wurde nur im Anfange des Versuchs bei einigen Pulsschlägen um ein weniges (um etwa 0,01 Mm.) gehoben und verkleinerte sich dann, um während des weiteren Verlaufs des Experiments klein (0,02) zu bleiben.

3. Exspiration in verdünnte Luft.

Während bei der Ausathmung in die gewöhnliche Luft, zumal wenn sie etwas forcirt geschieht, wie wir sahen, die Arterienspannung sowohl wie die Arterienfüllung erhöht wird, geschieht das Gegentheil bei Ausathmungen in verdünnte Luft. Dieselben wirken analog den Einathmungen verdünnter Luft, nur in weit geringerem Grade.

Auch hier wird mit jedem neuen Athemzuge eine erneute Abnahme der Arterienspannung und Arterienfüllung beobachtet, bis ein gewisser Gleichgewichtszustand sich hergestellt hat.

Wurde die Luft im Cylinder meines pneumatischen Apparates um ca. $^1/_{34}$ Atm.-Druck verdünnt, so wurde der Cylinder von Stud. M. in 7—8 Athemzügen durch die Exspiration gefüllt. Während dieser 7—8 Exspirationen in verdünnte Luft verminderte sich die Arterienspannung um 15 Gramm = 27,6 Mm. Hg., der Arteriendurchmesser verkleinerte sich um 0,20 Mm., also die Arterienfüllung um $\frac{2 \cdot 0{,}20}{4{,}14} = 9{,}66$ pCt.

Auch bei diesem Versuche wurden nur am Anfang einige

Pulse mit vergrösserter Pulswelle (0,05 Mm.), sodann nur niedrigere Pulswellen (0,03—0,02 Mm.) beobachtet.

In diesem sowohl wie in den beiden vorangegangenen Experimenten überdauerte die Herabsetzung resp. Steigerung der Arterienspannung und des Arteriendurchmessers das Ende des Versuchs meist um mehrere Minuten.

4. Exspiration in comprimirte Luft.

Dieselbe wirkt nach jeder Richtung vollkommen analog dem Valsalva'schen Versuch.

Alle die gewonnenen Resultate bestätigen auf's vollständigste dasjenige, was ich bereits im Jahre 1873[1]) über die Wirkung der comprimirten und verdünnten Luft auf den Puls und die Blutcirculation veröffentlicht und später in meiner pneumatischen Therapie[2]) des näheren ausgeführt habe. Dort findet sich auch bereits die Erklärung der gefundenen Thatsachen, die ich deshalb an dieser Stelle übergehen kann. Uebrigens ist diese Erklärung durchaus analog derjenigen, welche ich oben bei den Wirkungen der tiefen In- und Exspirationen sowie des Müller'schen und Valsalva'schen Versuchs auf den Puls kurz skizzirt habe.

Mit diesen Resultaten fallen alle Einwendungen, welche von gewissen Seiten gegen meine Schlussfolgerungen über die Wirkung der comprimirten und verdünnten Luft beim gesunden und kranken Menschen erhoben worden sind. Die Einwendungen suchten ihre Stütze einzig und allein in Thierversuchen, welche von Drosdoff und Botschetschkaroff und später von an-

---

[1]) Waldenburg: Ueber die mechanische Wirkung des transportablen pneumatischen Apparats auf das Herz und die Blutcirculation. Berliner klin. Wochenschr. No. 46. 47. 1873.

[2]) Waldenburg: Die pneumatische Behandlung der Respirations- und Circulationskrankheiten im Anschluss an die Pneumatometrie. Spirometrie und Brustmessung. Berlin 1875. Hirschwald.

deren ausgeführt wurden und sich an frühere physiologische Untersuchungen von Hering anschlossen.

Würden die Ergebnisse dieser Thierversuche in der That meinen am Menschen gewonnenen Resultaten widersprechen, so wäre es nur logisch — da allein die Anordnung meiner Experimente vollkommen derjenigen entspricht, wie sie thatsächlich bei der Anwendung der pneumatischen Therapie statthat, und überhaupt beim Menschen allein eine dieser vollkommen entsprechende Anordnung des Versuchs möglich ist, während beim Thier die Verhältnisse vollkommen anders liegen und namentlich die willkürlichen Einathmungen comprimirter und verdünnter Luft, resp. Ausathmungen in dieselbe, durchaus unmöglich sind — auch nur den am Menschen ausgeführten Versuchen die Beweiskraft zuzugestehen und die entgegengesetzten am Thier gewonnenen Resultate, sei es aus Fehlerquellen, nach denen man zu suchen hat, sei es aus der verschiedenen Versuchsanordnung herzuleiten. Entschieden urtheilt auch in dieser Weise jeder unbefangene; nur wer das entgegengesetzte Resultat durchaus wahr haben will und zu seinen, die Wissenschaft nichts angehenden Zwecken braucht, wird den entgegengesetzten Schluss sich erlauben.

Nun liegen zum Glück die Verhältnisse derart, dass ein directer Gegensatz der von mir am Menschen gewonnenen Resultate zu den Thierversuchen anderer überhaupt nicht besteht. Ich lasse es selbst vorläufig dahingestellt, ob die aus Thierexperimenten gewonnenen Ergebnisse frei von Fehlerquellen, ja sogar ob sie nicht durch eine den Versuchen am Menschen widersprechende Anordnung des Experiments herbeigeführt worden sind; selbst wenn sie sich als richtig erweisen, so stehen sie noch keineswegs in einem unlösbaren Widerspruch zu meinen aus Versuchen und Erfahrungen an Kranken gewonnenen Anschauungen. Die Thierversuche beziehen sich nämlich alle, nicht auf die Spannung der Arterie, nicht auf die Arterienfüllung, sondern einzig und allein auf den Blutdruck. Den

Blutdruck aber habe ich in meinen bisherigen Betrachtungen völlig ausser Acht gelassen, und erst in der nun folgenden Abhandlung will ich demselben eine eingehende Betrachtung widmen. Der Blutdruck bildet nur ein Glied in der Reihe von Factoren, welche die Arterienspannung beeinflussen. Gegen meine Ausführungen, dass unter Anwendung der comprimirten Luft eine vermehrte Blutfülle im grossen Kreislauf auf Kosten des kleinen, und das umgekehrte beim Gebrauch der verdünnten Luft statthat, ist bisher ein Widerspruch von irgend einer Seite überhaupt nicht erhoben worden — und dieser Umstand ist gerade für die Therapie das wesentlichste. Dass auch eine Erhöhung der Arterienspannung bei der Einathmung der comprimirten Luft resp. der Ausathmung in dieselbe statthat und umgekehrt eine Verminderung bei der Einathmung verdünnter Luft oder Ausathmung in verdünnte Luft, habe ich definitiv erwiesen; dagegen ist absolut nicht mehr anzukämpfen. Es bleibt nur die Frage, ob mit dem Anwachsen der Arterienspannung immer auch eine Erhöhung des Blutdrucks, mit der Verminderung der Arterienspannung eine Verminderung des Blutdrucks absolut statthaben muss. Es ist durchaus denkbar, dass das Anwachsen der peripherischen Widerstände und die abnorme Füllung der Arterien für sich allein genügt, um die Arterienspannung zu erhöhen, selbst wenn der Blutdruck nicht erhöht oder selbst ein wenig vermindert ist. Für unsere Anschauungen beim Menschen ist die Beobachtung der Spannung und der Arterienfüllung viel wichtiger als der Blutdruck. Letzterer kann abnehmen, obgleich die Herzkraft verstärkt wird, wenn das pheripherische Blutbett sich in höherem Grade erweitert, als die Herzarbeit sich verstärkt. Die vergrösserte Herzkraft wird dann gleichsam von der Blutgefässerweiterung übercompensirt.

Selbst wenn also bei der Einathmung der comprimirten Luft eine Verminderung des Blutdrucks sich ergeben sollte, so würde dies meinen Erfahrungen, dass die Arterienspannung sich stei-

gert, nicht widersprechen, es würde nur beweisen, dass die kleinen Gefässe in ganz abnormer Weise — durchaus conform meinen Beobachtungen — sich erweitert haben.

Die endgültige Entscheidung aber, ob wirklich der Blutdruck sich beim Gebrauch der comprimirten und verdünnten Luft der Arterienspannung entgegengesetzt verhält, hat nicht das Thierexperiment, sondern der Versuch am Menschen selbst zu liefern, wozu ich im folgenden die Mittel an die Hand gebe.

Ich selbst bin mit diesen Versuchen über die Veränderungen, welche der Blutdruck bei der Athmung und bei der Anwendung der comprimirten und verdünnten Luft erfährt, Versuchen, welche sehr vielen Schwierigkeiten bei der Ausführung begegnen, noch nicht zum Abschluss gelangt, und behalte mir deshalb das Eingehen auf diese Frage für eine spätere Gelegenheit vor.

Zweite Abtheilung.

Die Messung des Blutdrucks.

I. Arterienspannung und Blutdruck.

Die Arterienspannung ist ein sehr complicirter Begriff: sie ist das Product verschiedener concurrirender Kräfte. Dasselbe in seine einzelnen Factoren aufzulösen, das war die Aufgabe, die ich mir stellte, eine Aufgabe, die mir anfangs so schwierig schien, dass ich an das Gelingen derselben durch relativ einfache Mittel kaum zu hoffen wagte.

Die wesentlichsten Momente, aus welchen sich die Arterienspannung, wie sie der tastende Finger fühlt und die Pulsuhr misst, zusammensetzt, sind die folgenden:

1. Die Kraft, mit welcher der Herzmuskel bei jeder einzelnen Contraction arbeitet, um das Blut in das Arterienrohr hineinzutreiben, und die Häufigkeit seiner Contractionen.
2. Das Blutquantum, welches mit jeder Systole in die Aorta getrieben wird, und dasjenige, welches, je nach den Verhältnissen des Zu- und Abflusses, im Arterienrohr sich anhäuft (Arterienfüllung).
3. Die Widerstände an der Peripherie, ihrerseits abhängend von dem Lumen der peripherischen Gefässe, ihrer Füllung und dem Widerstand ihrer Wandung.
4. Die Eigenspannung der Gefässwandung, insbesondere von

der Dicke, der Structur, der Elasticität derselben abhängig.

Diese sehr complicirten Verhältnisse lassen sich indess auf zwei Hauptfactoren reduciren:

A. den Blutdruck,

B. die Arterienwandspannung.

Diese Reduction ist deshalb ausführbar, weil einerseits der Blutdruck sich aus den oben genannten ersten drei Factoren zusammensetzt, andererseits die Arterienwandspannung den vierten Factor umfasst, aber derart, dass sie nicht einzig und allein abhängig ist von der Dicke und Elasticität der Arterienwandung, sondern auch durch die ersten drei Factoren gleichfalls mit beeinflusst wird.

Wir können demnach die gesammte Arterienspannung als das Resultat aus Blutdruck und Wandspannung betrachten, sie in diese beiden Factoren auflösen. Aber wie verhalten sich diese beiden zu einander? oder ist es etwa erlaubt, die gesammte Arterienspannung einfach als die Summe von Blutdruck und Wandspannung zu betrachten?

Zur Entscheidung dieser Frage wählte ich das Experiment, und dasselbe gab mit überraschender Präcision die Antwort.

Experimente an elastischen Röhren.

Es galt, folgende Frage zu entscheiden: Setzt sich die Gesammtspannung einer mit Flüssigkeit unter bestimmtem Drucke gefüllten elastischen Röhre zusammen aus der Eigenspannung der Röhre einerseits und dem inneren Druck andererseits? und in welcher Weise geschieht dies?

Es handelte sich also darum, zunächst die Eigenspannung einer leeren oder mit Flüssigkeit ohne Druck gefüllten elastischen Röhre zu messen, sodann die letztere einem bestimmten inneren Drucke auszusetzen und die Gesammtspannung zu messen, endlich aus den beiden Ergebnissen den Sachverhalt zu erschliessen.

Die Experimente, die ich in dieser Beziehung anstellte, waren ziemlich zahlreich und führten alle zu dem gleichen Resultat. Ich kann mich deshalb auf die Mittheilung einiger weniger beschränken.

Zum Versuch wählte ich Gummiröhren, welche sowohl an Wanddicke wie an Lumen den Arteriae radiales nahe kamen. Die Messungen sowohl des Lumens, wie der Wanddicke und der Spannung wurden mit der Pulsuhr und zwar mit verschiedenen Pelotten ausgeführt. Es stellte sich hierbei heraus, dass von allen Pelotten durch die ellipsoidähnlichen, 5 Mm. langen und 2 Mm. breiten die präcisesten Resultate sich erzielen liessen. Ich theile deshalb nur diese letzteren mit und verzichte vorläufig auf die Widergabe der zu viel Raum füllenden übrigen Ergebnisse.

Ein äusserst wichtiger Punkt kommt hier in Betracht, der im Zusammenhang mit der Form und Grösse der Pelotte steht.

Um nämlich ein richtiges Mass der Spannung zu erhalten, muss zunächst festgestellt werden, wie gross die Oberfläche ist, deren Spannung bestimmt wird. Es ist nun klar, dass beim Messen der Spannung diejenige Oberfläche der Arterie resp. der Gummiröhre, auf welcher die Pelotte direct lastet, es nicht allein ist, die dem Druck dieser letzteren Widerstand leistet, sondern dass noch ein gewisser Umkreis der Arterie durch den Druck der Pelotte aus seiner Gleichgewichtslage gebracht wird, dass also auch seine Spannung bei der Messung mit in Betracht kommt.

Wie gross ist nun dieser Umkreis? Wie verhält sich die Grösse der Oberfläche, welche beim Messen der Spannung betroffen wird, zur Grösse der Pelottenoberfläche? Von der Lösung dieser ersten, a priori mir ausserordentlich schwierig erscheinenden Frage hing überhaupt die Möglichkeit ab, der oben gestellten Aufgabe näher zu treten. Denn vor allen Dingen musste man wissen, auf welche Oberfläche man den Blutdruck

zu berechnen habe, wenn man ihn messen und auf Barometerdruck übertragen wolle.

Die Form der Pelotte kann hierbei nicht gleichgültig sein. Ohne vorläufig in die Discussion über anders geformte Pelotten einzutreten, begnüge ich mich mit der Bemerkung, dass die beschriebene ellipsoidähnliche Pelotte mir auch in dieser Beziehung die befriedigendsten Resultate geliefert hat.

Zwei Wege waren offen, um die obige Frage zu lösen, die mathematische Berechnung und das Experiment. Ich wählte den letzteren Weg.

Zunächst betrachtete ich regelmässig den Eindruck, welchen die Pelotte beim Messen der Spannung einer Gummiröhre, nachdem die letztere zusammengedrückt war, in derselben machte. Mochte dieselbe leer sein, oder mit Wasser oder Quecksilber unter einem verschiedenen Drucke gefüllt sein, immer überragte der Eindruck auf der Gummiröhre die Pelotte um ein bestimmtes Verhältniss. Der Eindruck hatte, bei Anwendung einer ellipsoidähnlichen Pelotte von 5 Mm. Länge, 2 Mm. Breite, gleichfalls ungefähr die Form eines halben Ellipsoids mit dem doppelten Längen- und Breitendurchmesser der Pelotte, also 10 Mm. im Längen-, 4 Mm. im Breitendurchmesser. Die Pelotte lag in der Grube, welche sie in der Gummiröhre gemacht hatte, so, dass sie gerade die Mitte derselben einnahm, so dass also die Entfernung des Randes der Grube vom Mittelpunkt der Pelotte sowohl in der Längs- wie in der Queraxe doppelt so gross war, wie der Halbmesser der Pelotte in der gleichen Axe. Hieraus folgt, dass die O b e r f l ä c h e d e s d u r c h d i e P e l o t t e g e m a c h t e n E i n d r u c k s v i e r m a l s o g r o s s i s t, wie der D u r c h s c h n i t t d e r P e l o t t e s e l b s t, im gegebenen Falle also 40 Qu.-Mm.

Die Entfernungen mass ich mit dem Zirkel. Immerhin konnten kleine, wenn auch nicht erhebliche Fehler bei derartigen Messungen untergelaufen sein. Mindestens durfte ich nicht wagen, diese Resultate für ausreichend zu halten, um mit Sicher-

heit zu sagen, die Spannung resp. Druckmessung beziehe sich genau auf eine Oberfläche von 40 Qu.-Mm., bevor nicht die durch die Pulsuhr gewonnenen Druckwerthe diese Annahme bestätigten.

Ich theile nunmehr einige wenige Experimente in extenso mit. Die Versuchs-Anordnung war folgende:

Eine Gummiröhre von ca. 30 Ctm. Länge wurde auf ein Brett gelegt und darauf durch Haken derart fixirt, dass sie ohne comprimirt zu werden, fest und geradlinig auflag. Nachdem aus dem Träger der Pulsuhr die Armschiene entfernt, wurde an ihrer Stelle das Brett auf einem Klotze ruhend eingelegt, derart, dass beim Niederschrauben die Pelotte mit ihrer Längsaxe auf der Mitte der Röhre zu liegen kam. Zunächst wurde nun mittelst der Pulsuhr, die sich dabei als ein vorzüglich präcises Messinstrument erwies, sowohl das Lumen der Röhre wie ihre Wanddicke gemessen. Dies geschah am bequemsten folgendermassen:

Die Pulsuhr wurde im ganzen nur so weit niedergeschraubt, dass die Pelotte einige Millimeter von der Oberfläche der Gummiröhre entfernt blieb. Hier war also der Nullpunkt der Scala. Nun wurde die Röhre etwas bei Seite geschoben und am Schlüssel der Pulsuhr so weit gedreht, bis die Pelotte das Brett berührte. Während bis zur Berührung, da kein Widerstand vorhanden, der grosse und kleine Zeiger immer die gleichen Zahlen anzeigen, bleibt im Moment der Berührung der grosse Zeiger stehen oder schreitet nur minimal fort, nämlich nur so viel, als er unter dem Druck der Schraube und dem Widerstand des Brettes sich in dasselbe einzudrücken vermag, während der kleine Zeiger ruhig fortschreitet. In dem Moment also, wo die Zahlen beider Zeiger sich nicht mehr decken, ist die Berührung da. Man liest nun am grossen Zeiger den Weg ab, den die Pelotte durchlaufen: es ist die Entfernung des Nullpunkts vom Brette = a. Nun schraubt man am Schlüssel wieder bis zum Nullpunkt zurück und bringt darauf die Gummiröhre an ihre frühere Stelle. Ist dies geschehen, so schraubt man von neuem durch Drehen am Schlüssel die Pelotte herunter, bis sie die Röhre eben berührt.

Auch hier achtet man auf den Stand der Zeiger und den Beginn der Abweichung beider von einander. Auch ist das Auge allein schon ausserordentlich empfindlich, um den beginnenden Contact zu constatiren, zumal wenn ein weisses Stück Papier hinter die Gummiröhre gehalten wird, und das Auge vor derselben das Verschwinden des weissen Streifens beobachtet. Ist die Berührung erfolgt, so liest man am grossen Zeiger den Weg bis zur Berührungsstelle ab, er sei = b. Zieht man nun von der ersten Zahl a die zweite b ab, so ist a — b gleich der Dicke der Gummiröhre, d. h. gleich dem Durchmesser der Röhre, welcher sich zusammensetzt aus dem Durchmesser des Lumens l und dem doppelten Durchmesser der Wandung w,

$$a - b = l + 2w.$$

Nun schraubt man von neuem am Schlüssel die Pelotte in die Höhe, schiebt wiederum die Röhre bei Seite und befestigt mittelst Nadeln ein abgeschnittenes Stückchen der Gummiröhre auf dem Brett, derart, dass dasselbe platt aufliegt. Darauf misst man in gleicher Weise wie früher die Entfernung des Nullpunkts der Pelotte von der Oberfläche des Gummistückes, sie sei = c. Es ist dann a — c gleich der Wanddicke der Röhre,

$$w = a - c.$$

Hieraus folgt dann der Werth für das Lumen der Röhre l, indem man 2 w von dem Gesammtdurchmesser der Röhre (a — b) abzuziehen hat.

$$l = a - b - 2w = a - b - 2(a - c)$$
$$l = 2c - a - b.$$

Ist die Pulsuhr präcis gearbeitet, so vermag sie bei exacter Anordnung des Experiments die Durchmesser auf Hundertstel eines Millimeters genau zu messen. Das erste Instrument, welches ich benutzte, liess noch manches zu wünschen übrig, so dass, wenn man am Schlüssel drehte, ohne dass ein Widerstand an der Pelotte vorhanden, die Zahlen des grossen und kleinen Zeigers sich nicht immer genau deckten. Dasselbe kann wohl auch bei einem guten Instrument durch die Hygroskopie

des Fadens — mein früheres Instrument besass noch einen Faden anstatt einer Kette — entstehen, oder vielleicht auch, wenn dasselbe lange gebraucht ist, durch geringes Nachlassen der den Faden oder die Kette spannenden Feder. Genug, wie auch eine solche Abweichung zu Stande gekommen sein mag, so kann man sich gegen die daraus entspringenden Fehler schützen, indem man vor dem Beginn des Experiments zunächst auf einer Tabelle die Abweichungen notirt und dieselben später in Anrechnung bringt. Ich that dies bei den in Rede stehenden Experimenten, da es auf grosse Genauigkeit ankam, regelmässig, und zwar derart, dass ich die Abweichungen beider Zeiger von einander von 50 zu 50, oder 20 zu 20, auch wohl 10 zu 10 notirte und die später gewonnenen Zahlen hiernach richtig stellte.

Nachdem ich die Dicke der Röhre, ihr Lumen und ihre Wanddicke auf diese Weise mittelst der Pulsuhr gemessen, schritt ich zur Bestimmung der Spannung der Röhre, zuerst während dieselbe, an beiden Enden offen, nur Luft enthielt, sodann wenn dieselbe mit Wasser oder mit Quecksilber ohne Druck gefüllt war. Die Spannung wurde derart gemessen, dass — genau so, wie bei der Messung der Arterienspannung — das Gewicht bestimmt wurde, welches, um das Rohr zusammenzudrücken, erforderlich ist. Da der Durchmesser des Lumens bereits bekannt war, so bot es keine Schwierigkeit zu wissen, wann die Röhre bis zum Verstreichen des Lumens comprimirt war. Auch prägte sich der Moment, in welchem das Verstreichen des Lumens statt hatte, sehr präcise an den Bewegungen des Zeigers aus, indem plötzlich die Widerstände für die Fortbewegung des grossen Zeigers erheblich zunahmen. Man hatte in dieser Beziehung zugleich eine vorzügliche Controlle für die Präcision der Leistungen des Instruments. Indem man, nachdem das Lumen der Röhre bereits verstrichen, noch weiter hinaus schraubte, mass man die Zusammendrückbarkeit der Röhrenwandung selbst, ein Mass, das sich sehr wesentlich unterschied von dem der Compression der Röhre bis zum Verschwinden ihres Lumens.

In der letzteren Weise angewendet, stellt die Pulsuhr einen Consistenz-Messer dar, als welcher sie noch in mancher anderen Beziehung dienen kann. Sie misst die Consistenz eines Körpers derart, dass sie bestimmt, eine wie grosse Kraft erforderlich ist, um in ihm einen Eindruck von einem bestimmten Durchmesser, etwa 0,1 Millimeter, hervorzurufen.

War nun auf diese Weise die Spannung der Röhre und die Consistenz resp. Resistenz ihrer Wandung gemessen, so schob ich in das eine Ende der Röhre ein Glasrohr ein, welches im rechten Winkel sich nach oben umbog. Der aufrechte Schenkel war über 1 Meter hoch. Nun wurde in denselben Quecksilber eingefüllt und, nachdem die Luft aus der Röhre ausgetrieben, die letztere an ihrem freien Ende unterbunden. Das Quecksilber wurde nun zu einer bestimmten Höhe eingefüllt, zu 100 Mm., 200 Mm., 300 Mm., 400 Mm. u. a.

Der Inhalt der Röhre stand nunmehr unter einem bestimmten Drucke. Durch denselben wurde zunächst die Röhre ausgedehnt. Es musste deshalb von neuem die Dicke derselben, in gleicher Weise wie vorher, gemessen werden. Das nunmehr gleichfalls veränderte Lumen musste nach dem Moment bestimmt werden, in welchem beim Messen die erhöhte Resistenz der Röhrenwand eintrat, welche ja schon bekannt war. Durch Abzug des Lumens von der Gesammtdicke erhielt man die doppelte Dicke der Röhrenwandung. Mit der Zunahme des Gesammtdurchmessers der Röhre und ihres Lumens nahm die Dicke der Wand an sich ab, und das Mass, um welches die Wand dünner geworden, liess sich auf obige Weise mit der Pulsuhr bestimmen.

In einer Reihe anderer Experimente wandte ich statt Quecksilber- Wasserdruck an. Ich brachte die Gummiröhre nach Einschiebung eines gebogenen Glasrohrs mit einem mehrere Meter langen Gummischlauch, welcher in eine Glasflasche hineingelegt war, in Verbindung, füllte Flasche und durch Ansaugen auch Schlauch und Röhre mit Wasser und stellte dann die erstere

in bestimmter Höhe auf, und zwar bei den verschiedenen Versuchen in verschiedener, genau abgemessener Höhe, entsprechend $^1/_8$, $^1/_4$, $^1/_3$ u. a. Atmosphärendruck.

Ich komme nunmehr zu den Ergebnissen der Experimente, von denen ich nur eine einzige Versuchsreihe in extenso folgen lasse:

Versuch I.

Eine Gummiröhre wird zunächst in der oben angegebenen Weise mittelst der Pulsuhr gemessen.

Es ergiebt sich der Gesammtdurchmesser derselben = 7,11 Mm.
Wanddicke . . . . = 1,07 -
Folglich Lumen der Röhre = Gesammtdurchmesser minus doppelter Wanddicke = 7,11 — 2,14 = 4,97 Mm.

Nun wird die Röhre mit Quecksilber gefüllt, derart dass kein Seitendruck besteht — ausser demjenigen Druck, welchen die Quecksilberhöhe in der Röhre selbst ausübt.

Nun Beginn der Messung durch Herabbewegen der Pelotte vermittelst Drehen am Schlüssel. Die Pelotte berührt die Gummiröhre, wenn grosser und kleiner Zeiger auf 200 stehen.

Versuch I.
Kein äusserer Druck.

Weg des kleinen Zeigers in Mm.	Weg des grossen Zeigers in Mm.	Druck in Grm.	Zunahme des Druckes auf je 100 Weg des kleinen Zeigers berechnet.	Verhältniss des Weges des grossen Zeigers zu dem des kleinen, auf 100 des letzteren berechnet.
200	200	0	0	100
250	245	5	10	90
300	285	15	20	80
350	324	26	22	78
400	362	38	24	76

Weg des kleinen Zeigers in Mm.	Weg des grossen Zeigers in Mm.	Druck in Grm.	Zunahme des Druckes auf je 100 Weg des kleinen Zeigers. berechnet.	Verhältniss des Weges des grossen Zeigers zu dem des kleinen auf 100 des letzteren berechnet.
450	402	48	20	80
500	443	57	18	82
550	489	61	8	92
600	529	71	20	80
650	572	78	14	86
700	621	79	2	98
750	665	85	12	88
	rückt allmälig auf.			
	672	78	— 2	102
800	706	94	32	68
850	719	131	74	26
	zurückschrauben.			
750	672	78	— 2	102
760	680	80	20	80
770	689	81	10	90
780	696	84	30	70
790	702	88	40	60
800	706	94	60	40
810	710	100	60	40
820	712	108	80	20
830	715	115	70	30
840	717	123	80	20
850	719	131	80	20
900	726	174	86	14
950	735	215	82	18
1000	741	259	88	12

Wie in der Tabelle bereits bemerkt, bezeichnet die erste Columne den Weg des kleinen Zeigers, die zweite Columne den des grossen Zeigers. Der letztere entspricht der 100fachen Multiplication des Pelottenweges. Die dritte Columne ist gleich der

Differenz der ersten beiden und giebt den zur Wirkung gelangten Druck in Gramm an.

Um das Verhältniss, in welchem sich der Druck von einer Zahl zur folgenden steigert, übersichtlich darzustellen, habe ich in Columne 4 die Drucksteigerung auf je 100 Weg des kleinen Zeigers berechnet. Während beispielsweise der kleine Zeiger von 200 auf 250, also um 50 vorrückte, steigerte sich der Druck um 5 Gramm. Dies entspricht 10 auf 100. Während der kleine Zeiger von 750 auf 760, also um 10 vorrückte, steigerte sich der Druck von 78 auf 80 Gramm, also um 2 Gramm, demnach um 20 auf 100.

Die Ergänzung bildet Columne 5. Dieselbe stellt den Weg des grossen Zeigers im Verhältniss zu dem des kleinen, wiederum auf 100 des letzteren berechnet, dar. Während beispielsweise der kleine Zeiger von 200 auf 250, also um 50 vorrückte, rückte der grosse nur 45, also um 90 pCt. vor; während der kleine von 790 bis 800 um 10 vorrückte, that dies der grosse nur von 702 bis 706, also nur um 4 = 40 pCt.

Die Widerstände, welche dem Vorrücken des grossen Zeigers in jeder Phase der Messung sich entgegenstellen, sind demnach in Columne 4 und 5 zahlenmässig übersichtlich dargestellt.

Betrachten wir hiernach die Tabelle, so sehen wir, während der kleine Zeiger von 200 bis auf 750 vorrückt, hält sich die Drucksteigerung zwischen 2 und 24 pCt., der Weg des grossen Zeigers im Verhältniss zum kleinen zwischen 98 und 76 pCt.

Ich will auf die Form des An- und Absteigens des Druckes nicht näher eingehen, möchte indess die Bemerkung nicht unterdrücken, dass aus dem Studium dieser Form — sowohl bei den Experimenten an elastischen Röhren unter erhöhtem Druck, wie an den Pulsmessungen — sich, wie ich glaube, wichtige Schlüsse werden ableiten lassen. Nur auf einen Punkt möchte ich besonders aufmerksam machen: Während der kleine Zeiger von 700 auf 750 vorrückt, rückt der grosse von 621 bis 665, also um

88 pCt. vor, unter einer Druckzunahme von 12 pCt. Während einer Pause von mehreren Sekunden rückt nunmehr bei stillstehendem kleinen Zeiger der grosse Zeiger ein weiteres Stück vorwärts und zwar bis auf 672, so dass der Druck jetzt eins weniger beträgt als in dem Moment, in welchem der kleine Zeiger auf 700 gestanden hatte, also statt einer Steigerung ein Abfall des Drucks um 2 pCt. Dies war nicht etwa durch einen störenden Zufall bedingt, sondern wurde sehr häufig in gleicher Weise, und zwar meistens in einer analogen Phase der Messung beobachtet. Dasselbe Phänomen hatte ich schon früher häufig bei der Pulsmessung gefunden und war anfangs geneigt, es einer Bewegung des Patienten zuzuschreiben, bis ich mich überzeugte, dass es auch bei scrupulös genauer Messung vorkommt und in der Sache selbst begründet ist. Dass aber das letztere der Fall, dafür wurde mir freilich erst durch die Experimente an elastischen Röhren, wo jede fehlerhafte Bewegung ausgeschlossen war, der sichere Beweis geliefert. Ein solches Beispiel liegt in obiger Tabelle vor. Wie ist jenes Vorrücken des grossen Zeigers und die damit Hand in Hand gehende Druckverminderung zu erklären? Einfach dadurch, dass wir annehmen müssen, dass nachdem die Röhre bis zu einem gewissen Punkte zusammengedrückt ist und dadurch die Hauptwiderstände für das Umbiegen und Herabdrücken der oberen Wand beseitigt sind, nunmehr der schon vorhandene Druck mehr als ausreicht, um die Wand noch eine kleine Strecke weiter hinunterzuschieben und in dieser Lage festzuhalten.

Kommen wir nach dieser Abschweifung wieder auf das Hauptergebniss zurück, so sehen wir, dass bis 750 die fortschreitende Drucksteigerung in maximo 24 pCt. betrug. Von 750—800 steigt sie auf 32, sodann von 800—850 auf 74; dem entsprechend sinken die Wege des grossen Zeigers, die bis 750 76—98 pCt. betragen hatten, auf 68 und bald darauf auf 26 pCt.

Es war somit klar, dass zwischen 750 und 800 der Punkt

liegen musste, an welchem das Lumen der Röhre verstrichen war und die Compression der Röhrenwand, welche einen weit höheren Druck erforderte, begann. Höchst wahrscheinlich lag dieser Punkt in der Nähe von 800. Um ihn genauer zu finden, drehte ich auf 750 zurück und beobachtete nunmehr den Lauf der Zeiger von 10 zu 10. Es zeigte sich, dass bis 770 die Druckwerthe noch relativ niedrig, 10—20 pCt. waren, dass der Druck zwischen 770—780 auf 30 pCt., von 780—790 auf 40 pCt. und von 790—800 auf 60 pCt. anstieg, sodann bis 810 auf 60 blieb, um später noch weiter, und zwar auf 70—88 anzusteigen.

Der grösste Sprung geschah offenbar zwischen 790 und 800, und zwischen diesen beiden Zahlen, und zwar näher an 790 als an 800 musste deshalb der gesuchte Punkt liegen[1]). Ich nahm deshalb die Reihe 790 als die der richtigen am nächsten liegend an, mit der Wahrscheinlichkeit, dass die genaueren Zahlen etwas höher sind, aber die von 800 nicht erreichen.

Das Resultat ist also, dass die Verstreichung des Lumens der Röhre statt hatte, als der kleine Zeiger nahe bei 790, der grosse nahe bei 702 stand. Der Druck welcher erforderlich war, um die Röhre zu comprimiren, betrug demnach etwa 88 Gramm — wahrscheinlich etwas darüber, aber sicher weniger als 94 und näher der 88 als der 94. Etwas über 88 Gramm beträgt demnach die Spannung der Röhrenwand.

Ich will hier sogleich bemerken, dass aus anderen Versuchen, die ich anstellte, und die ich der Kürze halber hier nicht näher mittheile, sich ergab, dass eine wesentliche Verschiedenheit in der Wandspannung sich nicht herausstellte, ob dieselbe an den mit Luft, mit Wasser, oder mit Quecksilber gefüllten Röhren gemessen wurde.

---

[1]) Eine genauere Aufsuchung des betreffenden Punktes — etwa durch Prüfung von je 2 zu 2 — mochte ich zur Zeit nicht vornehmen, weil ich meinem damaligen Instrumente eine so hohe Subtilität des Ganges nicht zutraute. Mit den neu angefertigten Instrumenten hoffe ich, dass auch diese zu erreichen sein wird.

Nimmt man die Reihe 790 als diejenige an, bei welcher das Lumen der Röhre eben verstrichen war, so erhält man für den Weg des grossen Zeigers von der Berührung der Röhre an bis zur Compression derselben die Zahl 702—200 = 502. Das Lumen der Röhre berechnet sich hiernach auf 5,02 Mm.

Nun fanden wir aber bei der direkten Messung des Lumens der Röhre nur 4,97 Mm., also 0,05 Mm. weniger. Dieser Ueberschuss von 0,05 Mm. erklärt sich einfach aus einer wirklich stattgehabten Lumen-Erweiterung durch die Füllung der Röhre mit Quecksilber und den durch das letztere ausgeübten Druck. Die Resultate beider Messungen stehen demnach mit einander in Einklang.

Von grossem Interesse ist, die Resistenz der Röhrenwand zu vergleichen mit der Wandspannung der Röhre. Die letztere, d. h. also die Kraft, welche erforderlich ist, um die Röhre bis zur Verstreichung ihres Lumens zu comprimiren, betrug im ganzen 88 Gramm, welche sich auf einen Weg des kleinen Zeigers von 790—200 = 590 Mm. erstreckte. Der Druck auf je 100 Weg betrug demnach im Durchschnitt 15 Gramm. Dem gegenüber beläuft sich die Resistenz der Röhrenwand, d. h. der Druck, welcher erforderlich ist, um die Wand in sich zu comprimiren, für den Gesammtweg des kleinen Zeigers von 800 bis 1000, also für einen Weg von 200 Mm., bis auf 259 — 94 = 165 Gramm, demnach auf 82,5 pCt.

Es stehen sich also gegenüber:

Wandspannung der Röhre = 15 pCt.
Resistenz der Röhrenwand = 82,5 „

In entgegengesetztem Verhältniss zu einander stehen die Wege des grossen Zeigers, verglichen mit denen des kleinen. Bis zum Verstreichen des Lumens der Röhre betrug der Gesammtweg des grossen Zeigers 702—200 = 502, gegenüber 790—200 = 590 Weg des kleinen Zeigers, folglich das Verhältniss des ersteren zum zweiten = 85 pCt. Nach dem Verstreichen des Lumens rückte der grosse Zeiger nur von 706 bis 741, also

um 35 vor, während der kleine von 800 auf 1000, also 200 vorrückte. Weg des grossen Zeigers also nur 17,5 pCt. des kleinen.

Wie bereits oben angedeutet, kann man dieses Mass der Resistenz der Röhrenwand zugleich als ein Mass ihrer Consistenz betrachten. Es ist in unsrem Falle also ein Druck von 100 Gramm — nota bene auf die angewandte Pelotte berechnet — erforderlich, um die Röhrenwand um 0,175 Mm. zu comprimiren. In gleicher Weise lässt sich die Consistenz der verschiedensten Körper durch die Pulsuhr messen.

Zu bemerken ist noch, dass die Resistenz der Röhrenwand nicht in allen Stadien der Messung die gleiche ist: Am Anfang der Compression erhalten wir 60 Druck und 40 Weg des grossen Zeigers auf 100 Weg des kleinen Zeigers. Gegen Ende unserer Messung steigen die Druckwerthe und fallen die Wegwerthe beträchtlich, so dass in der letzten Reihe der Druck 88 pCt., der Weg des grossen Zeigers nur 12 pCt. beträgt.

Versuch II.

Durch Eingiessen von Quecksilber in die aufsteigende Glasröhre nach Zubinden des freien Endes der Gummiröhre wird die letztere einem Innendrucke von 100 Mm. Quecksilber ausgesetzt.

Es erfolgt darauf die Messung mit der Pulsuhr in gleicher Weise wie vorher, und sie ergiebt die nachstehenden Zahlen. Die Berührung erfolgt kurz bevor der kleine Zeiger auf 143 zeigt.

Versuch II.

Druck von 100 Mm. Hg.

Weg des kleinen Zeigers in Mm.	Weg des grossen Zeigers in Mm.	Druck in Grm.	Zunahme des Druckes auf je 100 Weg des kleinen Zeigers berechnet.	Verhältniss des Weges des grossen Zeigers zu dem des kleinen auf 100 des letzteren berechnet.
143	141	2	—	—
190	184	6	9	91
240	228	12	12	88
290	266	24	24	76
340	302	38	28	72
390	337	53	30	70
440	377	63	20	80
490	415	75	24	76
540	455	85	20	80
590	492	98	26	74
640	532	108	20	80
690	575	115	14	86
740	618	122	14	86
750	626	124	20	80
760	635	125	10	90
770	642	128	30	70
780	650	130	20	80
790	658	132	20	80
800	666	134	20	80
810	672	138	40	60
820	681	139	10	90
830	686	144	50	50
840	690	150	60	40
850	694	156	60	40
860	696	164	80	20
870	698	172	80	20
880	701	179	70	30
890	704	186	70	30
940	711	229	86	14
990	718	272	86	14
1040	726	314	84	16
1090	732	358	88	12

Die Hauptfrage ist, an welcher Stelle dieser Tabelle ist das Lumen der Röhre als verstrichen anzunehmen?

Betrachten wir sämmtliche Reihen bis 820, so wächst der Druck in denselben um je 9—40 pCt., der Weg des grossen zu dem des kleinen Zeigers hält sich zwischen 60 und 91 pCt.

In der Reihe von 820—830 steigt der Druck plötzlich auf 50 pCt., sinkt der Weg des grossen Zeigers auf 50 pCt., um in der folgenden Reihe auf 60 pCt., resp. 40 pCt. zu gelangen. Diese letzteren Werthe sind dieselben, welche wir in dem vorigen Versuche als diejenigen kennen lernten, welche der anfänglichen Resistenz der Röhrenwand entsprechen. Wir werden demnach die Reihe 830, 686, 144 als diejenige betrachten müssen, welche dem Moment am nächsten steht, in welchem die Röhre bis zum völligen Verstreichen ihres Lumens comprimirt ist.

Der Gesammtdruck, welcher erforderlich war, um die Röhre, die mit einem Innendruck von 100 Mm. Quecksilber behaftet war, zu comprimiren, betrug demnach 144 Gramm, also 56 Gramm mehr als im vorigen Versuch, in welchem das Quecksilber unter keinem Druck stand.

Dieser Gesammtdruck von 144 Gramm vertheilt sich auf einen Weg des kleinen Zeigers von 830 — 143 = 687. Dies sind 21 pCt. gegen 15 pCt. des vorigen Versuchs. Die Wege des grossen Zeigers betragen dem gegenüber 79 pCt. gegen 85 pCt. des ersten Experiments.

Auf die Form des Ansteigens des Drucks will ich auch hier nicht näher eingehen.

Nachdem die Pelotte verstrichen, also nur die Compression der Arterienwandung, ihre Resistenz resp. Consistenz in Betracht kommt, haben wir analoge Zahlen wie im ersten Versuch. Auch hier wächst der Druck von 60 auf 88 pCt., sinkt der Weg des grossen Zeigers auf 40 bis 12 pCt.

Was die Füllung der Röhre im vorliegenden Versuche betrifft, so ist dieselbe in dem Wege des grossen Zeigers ausgedrückt. Bei 141 hatte die Berührung der oberen Röhrenwand

so eben stattgefunden, bei 686 war das Lumen verstrichen; folglich beträgt das Lumen 6,86 — 1,41 = 5,45 Mm.

Im ersten Versuch war das Lumen = 5,02. Dasselbe hatte vor der Füllung mit Quecksilber 4,97 Mm. betragen. Es ist demnach unter dem Drucke von 100 Mm. Hg. um 0,48 Mm., d. h. um fast 10 pCt. vergrössert worden.

Versuch III.

Es wird in die aufsteigende Glasröhre so viel Quecksilber eingefüllt, dass die Höhe der Quecksilbersäule über dem Boden der Gummiröhre 200 Mm. beträgt.

Zunächst wird von neuem der Durchmesser der in dieser Weise gefüllten Röhre gemessen, er beträgt 7,75 Mm., während die leere Röhre nur 7,11 Mm. Durchmesser gehabt hat. Derselbe ist demnach unter dem inneren Drucke von 200 Mm. Hg. um 0,64 Mm. gewachsen.

Es beginnt nun der Versuch: Die Berührung der Gummiröhre mit der Pelotte erfolgt, während grosser und kleiner Zeiger auf 108 stehen.

Versuch III.

Druck von 200 Mm. Hg.

Weg des kleinen Zeigers in Mm.	Weg des grossen Zeigers in Mm.	Druck in Grm.	Zunahme des Druckes auf je 100 Weg des kleinen Zeigers berechnet.	Verhältniss des Weges des grossen Zeigers zu dem des kleinen auf 100 des letzteren berechnet.
	Berührung bei			
108	108	0	0	100
150	147	3	7	93
200	185	15	24	76
250	221	29	28	72
300	251	49	40	60

Weg des kleinen Zeigers in Mm.	Weg des grossen Zeigers in Mm.	Druck in Grm.	Zunahme des Druckes auf je 100 Weg des kleinen Zeigers berechnet.	Verhältniss des Weges des grossen Zeigers zu dem des kleinen auf 100 des letzteren berechnet.
350	287	63	28	72
400	321	79	32	68
450	360	90	22	78
500	396	104	28	72
550	433	117	26	74
600	467	133	32	78
650	503	147	28	72
700	539	161	28	72
750	581	169	16	84
800	620	180	22	78
810	628	182	20	80
820	636	184	20	80
830	644	186	20	80
840	651	189	30	70
850	660	190	10	90
860	670	190	0	100
870	676	194	40	60
880	681	199	50	50
890	689	201	20	80
900	697	203	20	80
910	701	209	60	40
920	706	214	50	50
930	709	221	70	30
940	711	229	80	20
950	713	237	80	20
1000	724	276	78	22
1050	731	319	86	14

Der Punkt, bei welchem das Lumen der Röhre verstrichen ist, findet sich leicht in der Reihe 900, 697, 203. Während bis zu dieser Reihe die Drucksteigerung je 7—50 pCt., der Weg des grossen Zeigers je 50—93 pCt. betragen hatte, erhöht sich von 900 an der Druck plötzlich von 20 auf 60, der Weg sinkt von 80 auf 40. Die Zahl 60 pCt. ist uns bereits aus

den früheren Versuchen als die Anfangs-Resistenz der Röhrenwand bekannt; wir befinden uns demnach in Uebereinstimmung mit den früheren Ergebnissen [1]).

Der Druck, welcher erforderlich war, um die unter einem Innendruck von 200 Mm. Hg. stehende Gummiröhre bis zur Verstreichung ihres Lumens zu comprimiren, beträgt demnach 203 Gramm, also 59 Gramm mehr als im vorigen, 115 Gramm mehr als im ersten Versuch.

Diese 203 Gramm vertheilen sich auf einen Weg des kleinen Zeigers von 900 — 108 = 792; dies entspricht 25,6 pCt. gegen 15 pCt. im ersten, 21 pCt. im zweiten Experiment. Umgekehrt beträgt der Weg des grossen Zeigers im Verhältniss zu dem des kleinen in unsrem Versuch 74,4 pCt., gegenüber 85 pCt. im ersten, 79 pCt. im zweiten Experiment.

Die Füllung der Röhre, resp. der Durchmesser ihres Lumens betrug im vorliegenden Versuch 6,97 — 1,08 = 5,89 Mm. Das Lumen der Röhre ist demnach gegen den vorigen Versuch um 0,44 Mm., gegen den ersten Versuch um 0,87, also um mehr als $^1/_6$ des ursprünglichen Lumens gewachsen.

Mit dem Anwachsen des Lumens hat sich die Dicke der Röhrenwandung vermindert. Wir sahen nämlich, dass die Gesammtdicke der Röhre in unserem letzten Versuch 7,75 Mm. betrug. Es kommt demnach auf die doppelte Dicke der Röhrenwandung ein Durchmesser von 7,75 — 5,89 = 1,86 Mm. Die Röhrenwand war also 0,93 Mm. dick, während sie ursprünglich, als sie noch nicht mit Quecksilber unter Druck gefüllt war, 1,07 betragen hatte. Die Wandung der Röhre ist demnach bei

[1]) Dass auf die folgende Reihe die Zahl 50 fällt, darf nicht auffallen. Beim Ablesen wurden die Bruchwerthe des Millimeters vernachlässigt, und da konnte es nicht fehlen, dass in der einen Reihe zuweilen ein Bruchtheil zu wenig, in der anderen einer zu viel gerechnet wurde. Wahrscheinlich gleichen sich bei Berücksichtigung dieses Umstandes die Differenzen der drei aufeinander folgenden Zahlen 209, 214, 221 mehr gegen einander aus, als wie es bei der Multiplication der Differenz mit 10 den Anschein hat.

200 Mm. Quecksilberdruck, während ihr Lumen sich um mehr als $^1/_6$ im Durchmesser vergrössert hatte, um 0,14 Mm. dünner geworden.

Ich möchte noch auf einen Punkt in der Tabelle aufmerksam machen: Während die Drucksteigung vor dem Verstreichen des Lumens zwischen 7 und 50 pCt. schwankt, ist ausnahmsweise zwischen 850 und 860 die Drucksteigung = 0, der Weg des grossen Zeigers gleich dem des kleinen, also = 100 pCt. Diese Thatsache ist analog derjenigen, welche bereits im ersten Experiment hervortrat und dort erklärt wurde, nämlich der Thatsache, dass in einem gewissen Stadium der Compression — besonders nahe dem Ende derselben — der grosse Zeiger von selbst einige Millimeter vorrückte, ohne dass am Schlüssel gedreht wurde.

Versuch IV.

Die aufsteigende Glasröhre wird so weit mit Quecksilber gefüllt, dass die Gummiröhre unter einem Druck von 300 Mm. Hg. steht.

Wiederum wird zunächst die Dicke der so gefüllten Gummiröhre gemessen, sie beträgt 8,25 Mm., folglich 0,5 Mm. mehr als im vorigen Versuch, 1,14 Mm. mehr als der Durchmesser der nicht gefüllten Röhre.

Sodann folgt die Druckmessung. Die Berührung der Röhre findet statt bei 57.

Versuch IV.

Druck von 300 Mm. Hg.

Weg des kleinen Zeigers in Mm.	Weg des grossen Zeigers in Mm.	Druck in Grm.	Zunahme des Druckes auf je 100 Weg des kleinen Zeigers berechnet.	Verhältniss des Weges des grossen Zeigers zu dem des kleinen auf 100 des letzteren berechnet.
57	57	0	0	100
101	94	7	18	82
151	136	15	16	84
201	166	35	40	60
301	227	74	39	61
351	261	90	32	68
401	295	106	32	68
451	331	120	28	72
501	369	132	24	76
551	406	145	26	74
601	438	163	36	64
651	474	177	28	72
701	509	192	30	70
751	549	202	20	80
801	588	213	22	78
851	624	227	28	72
901	660	241	28	72
951	695	256	30	70
	rückt auf			
	697	254	26	74
961	705	256	20	80
971	712	259	30	70
981	716	265	60	40
991	720	271	60	40
1001	723	278	70	30
1011	725	286	80	20
1021	728	293	70	30
1031	730	301	80	20
1041	733	308	70	30
1051	735	316	80	20
1101	746	355	78	22

Auch in dieser Tabelle ist der Punkt unschwer zu finden, wo das Lumen der Röhre verstrichen ist. Während bis 971 die Drucksteigerung zwischen 16 und 40 pCt., der Weg des grossen Zeigers zwischen 84 und 60 pCt. schwankt, tritt von 971 an plötzlich ein Ansteigen des Druckes um 60 pCt., ein Absinken des Zeigerwegs auf 40 pCt. ein. Wiederum sind es dieselben Zahlen, welche wir in sämmtlichen vorhergehenden Versuchen als diejenigen kennen lernten, welche der Consistenz der Röhrenwandung entsprechen. Wir dürfen demnach die Reihe 971 712 259 als diejenige betrachten, welche dem Punkte, bei welchem das Lumen der Röhre verstreicht, am nächsten liegt.

Hieraus folgt, dass der Druck, durch welchen die bei 300 Mm. Quecksilber-Druck gefüllte Röhre comprimirt wurde, 259 Gramm beträgt. Wir haben demnach wiederum 56 Gramm mehr als im vorigen Versuch, genau dieselbe Differenz, die wir auch zwischen dem ersten und zweiten Versuch gefunden hatten, während die zwischen dem zweiten und dritten Versuch 59 Gramm betragen hatte.

Der Druck von 259 Gramm vertheilt sich auf einen Weg des kleinen Zeigers von 971 — 57 = 914. In Procenten ausgedrückt erhalten wir demnach auf 100 Weg des kleinen Zeigers einen Druck von 28,3 Gramm und den Weg des grossen Zeigers = 71,7 pCt., während die analogen Zahlen des vorigen Experiments 25,6 pCt. resp. 74,4 pCt. gewesen waren.

Das Lumen der Röhre berechnet sich im vorliegenden Experiment auf einen Durchmesser von 7,12 — 0,57 = 6,55 Mm. Es ist demnach gegen den vorigen Versuch um 0,66 Mm., gegen den ersten Versuch um volle 1,53 Mm., also um mehr als 30 pCt. gewachsen.

Die Gesammtdicke der gefüllten Röhre betrug 8,25 Mm. Folglich Dicke der Röhrenwand $= \frac{8,25 - 6,55}{2}$ Mm. = 0,85 Mm. Die Röhrendwand ist demnach gegen den vorigen Versuch um

0,08 Mm., gegen ihren ursprünglichen Durchmesser um 0,22 Mm., d. i. um mehr als 20 pCt. dünner geworden.

Es folgt ein fünfter Versuch, bei welchem in die aufsteigende Glasröhre 400 Mm. Quecksilber eingefüllt wurden. Unter diesem Druck schwillt die Gummiröhre stark an und platzt.

Ich bemerke, dass in einer anderen Versuchsreihe mir auch dieses Experiment mit 400 Mm. Hg.-Druck zur Zufriedenheit gelungen ist.

Schlüsse aus den Experimenten.

Recapituliren wir die Ergebnisse unsrer Experimente in betreff der Spannung der Röhre, je nachdem dieselbe unter einem inneren Druck von 0, 100 M., 200 M., 300 Mm. Quecksilber stand, so erhielten wir folgende Zahlen:

Innerer Druck der Flüssigkeit.	Spannung der Röhre.	
0 Mm. Hg.	88 Grm.	
100 „ „	144 „	= 88 + 56 Grm.
200 „ „	203 „	= 88 + 115 „ = 144 + 59 Grm. = 88 + 2 . 57,5 Grm.
300 „ „	259 „	= 88 + 171 Grm. = 203 + 56 Grm. = 88 + 3 . 57 Grm.

Bei einem Druck von 100 Mm. Quecksilber wächst somit die ursprüngliche Spannung um 56 Gramm, bei einem Druck von 200 Mm. Hg. um weitere 59 Gramm oder gegen die erste Reihe um 2 . 57,5 Gramm, bei 300 Mm. Hg. um neue 56 Gramm oder im ganzen um 3 . 57 Gramm. Die Differenzen zwischen den einzelnen Reihen stehen einander so nahe, dass man sie wohl als gleichwerthig bezeichnen und ihre Abweichungen von einander auf Rechnung von Fehlerquellen, die wir später bezeichnen werden, schieben kann. Zwei Mal tritt die Differenz von 56 ein. Wir dürfen somit wohl diese Zahl, oder

höchstens 57, als die dem Mittel am nächsten stehende bezeichnen.

Berechnen wir nun: welchem Flächendruck entsprechen 56 Gramm auf 100 Mm. Hg. bei einem zur Zeit des Experiments vorhandenem Barometerstand von 750 Mm. Hg.?

Das Gewicht der Atmosphäre, also 750 Mm. Hg., beträgt auf einer Fläche von 1 Qu.-Ctm. = 100 Qu.-Mm. bekanntlich 1033 Gramm. Es berechnet sich dann

$$x = \frac{56 \,.\, 750}{1033} = 40{,}6 \,\square\, \text{Mm.}$$

Setzen wir statt 56 Gramm 57 Gramm, so erhöht sich x auf $\frac{57 \,.\, 750}{1033} = 41{,}3$ Qu.-Mm.

Wir sehen demnach, dass bei einer Zunahme des Innendrucks der Röhre um 100 Mm. Hg. die Spannung der Röhre sich in dem Grade steigert, dass diese Steigerung einem gleichen Drucke von 100 Mm. Hg. auf eine Oberfläche von 40—41 Qu.-Mm. entspricht.

Nun fanden wir bereits bei der Besichtigung der Röhre, während die Druckversuche angestellt wurden, dass ein Eindruck in die Röhre gemacht wurde, welcher ungefähr dem doppelten Längen- und dem doppelten Breitendurchmesser der Pelotte, also 10 Mm. Länge und 4 Mm. Breite, d. h. 40 Qu.-Mm. Flächeninhalt entsprach.

Diese Beobachtung stimmt demnach fast genau mit dem durch die Druckmessung gewonnenen und durch Berechnung gefundenen Werthe überein.

Machen wir die Rechnung umgekehrt, und setzen 40 Qu.-Mm. als diejenige Fläche, auf welche der Druck statthat, supponiren wir zugleich, dass die Spannung genau der Summe von Wandspannung plus innerem Drucke entspricht, so erhalten wir folgende Zahlen.

Auf einer Oberfläche von 40 Qu.-Mm. entspricht bei 750

Mm. Hg. Barometerdruck eine Drucksteigerung von 100 Mm. Hg. einem Gewichte von $\frac{40 \cdot 1033}{750}$ Gramm = 55,1 Gramm.

Die Wandspannung betrug nach der Messung ca. 88 Gramm. Ist jene Supposition richtig, so mussten wir folgende Zahlen erhalten.

Spannung der Röhre ohne inneren Druck = 88 Grm.
Spannung der Röhre bei 100 Mm. Hg. innerem Druck = 88 + 55,1 = 143,1 Grm.
Spannung der Röhre bei 200 Mm. Hg. innerem Druck = 88 + 2 . 55,1 = 198,2 Grm.
Spannung der Röhre bei 300 Mm. Hg. innerem Druck = 88 + 3 . 55,1 = 253,3 Grm.

Stellen wir diese nach unserer Annahme berechneten Zahlen den bei der Druckmessung wirklich gefundenen Zahlen gegenüber, so stellt sich das Verhältniss folgendermassen:

	Berechnete Zahlen.	Gefundene Zahlen.	Differenz.
Spannung der Röhre			
bei 0 Druck . .	88 Grm.	88 Grm.	—
- 100 Mm. Hg.	143,1 -	144 -	0,9 = 0,6 pCt.
- 200 - -	198,2 -	203 -	4,8 = 2,4 -
- 300 - -	253,3 -	259 -	5,7 = 2,2 -

Mir scheint die Uebereinstimmung zwischen den berechneten und den wirklich gefundenen Werthen vollständig genug zu sein, um aus denselben den Beweis für die Richtigkeit unserer Annahme herzuleiten.

Die Differenzen zwischen den berechneten und den gefundenen Werthen sind so gering, dass sie bei den im Versuch nicht zu umgehenden Fehlerquellen in nichts verschwinden.

Wir haben in unseren Versuchen die Druckwerthe nur annähernd in Reihen von 10 zu 10 bestimmt; deshalb sind Differenzen von wenigen Gramm nicht allein möglich, sondern

selbst wahrscheinlich. Zumal im ersten Versuch, wo es sich darum handelte, die Eigenspannung der Röhrenwand kennen zu lernen, mussten wir als wahrscheinlich annehmen, dass der Druck etwas mehr als 88 Grm. betrage. Setzen wir beispielsweise anstatt 88 90—91 Grm., so glätten sich die Differenzen zwischen berechneten und gefundenen Zahlen noch mehr aus.

Ueberdies konnte die Höhe der Quecksilbersäule niemals so vollkommen genau abgepasst werden, dass nicht ein Tröpfchen Quecksilber zu viel hätte eingefüllt werden können; und wenige Millimeter Quecksilberhöhe zu viel würden für sich allein schon als Fehlerquelle genügen, um die obigen Differenzen zu erklären.

Ich will noch die Resultate aus einigen anderen Versuchsreihen kurz hinzufügen, um zu zeigen, dass auch in diesen die Abweichungen zwischen gefundenen und auf Grund meiner obigen Voraussetzung berechneten Werthen nur minimale sind.

Zweite Versuchsreihe.

Die Spannung einer mit Quecksilber gefüllten Röhre wird zunächst, ohne dass ein Seitendruck stattfindet, gemessen. Man erhält als Resultat 112 bis 114 Gramm.

Dieselbe Röhre wird einem Innendrucke von 100 Mm. Quecksilber unterworfen. Die Spannung, welche nunmehr gemessen wird, beläuft sich auf einen Werth zwischen 165 bis 171 Grm., ist aber näher an 165 als an 171.

Die gleiche Röhre unter einem Druck von 200 Mm. Hg. ergiebt einen Werth zwischen 218 und 226, aber wieder 218 viel näher als 226 Grm.

Endlich einem Drucke von 300 Mm. Hg. ausgesetzt, erhalten wir eine Spannung von 271 bis 277.

Setzen wir in den vier Versuchen überall die kleinsten gefundenen Zahlen, so erhalten wir:

Spannung der Röhre bei Mm. Hg. Druck	Gefundene Zahlen.	Berechnete Zahlen.	Differenz.
0	112	112	—
100	165 = 112 + 53	167 = 112 + 55	2
200	218 = 112 + 2 . 53	222 = 112 + 2 . 55	2 . 2
300	271 = 112 + 3 . 53	277 = 112 + 3 . 55	3 . 2

Diese Differenzen sind an sich schon sehr geringfügig; sie verschwinden aber ganz, wenn wir den Spielraum berücksichtigen, innerhalb dessen die bei der Messung gefundenen Zahlen sich bewegen. Die der Rechnung entsprechenden Werthe 167, 222, 277 liegen sämmtlich noch innerhalb der Breite derjenigen Zahlen, welche die Messung in Wirklichkeit ergeben hat. Eine noch weiter in's Detail ausgeführte Messung hätte freilich die wirklichen Werthe fester bestimmen können; sie ist aber unterlassen worden.

Dritte Versuchsreihe.

Die Spannung der mit Quecksilber gefüllten Röhre wird gemessen und auf etwas weniger als 116 Grm. festgestellt.

Es wird nun in die aufsteigende Glasröhre Quecksilber eingefüllt bis zu einer Höhe der Säule von 300 Mm. Die Druckmessung ergiebt nunmehr einen Werth von 279 Grm.

Darauf wird die Röhre einem Drucke von 400 Mm. Hg. ausgesetzt. Die Spannung beläuft sich jetzt, wie die Messung ergiebt, auf 331 Grm.

Spannung der Röhre bei Mm. Hg. Druck.	Gefundene Werthe.	Berechnete Werthe.	Differenz.
0	116	116	—
300	279 = 116 + 3 . 54,3	116 + 3 . 55 = 281	3 . 0,66
400	331 = 116 + 4 . 53,75	116 + 4 . 55 = 336	4 . 1,25

Nun ist in diesem Experiment die Zahl 116 zu gross. Nach dem Resultate der Messung ist der wirkliche Werth etwas

niedriger. Setzen wir beispielsweise statt 116 wie im vorigen Versuch 112—114 (die Röhre war von demselben Stück abgeschnitten, wie die vorige), so verschwinden die Differenzen fast auf ein minimum. Bei 114 Eigenspannung der Röhre würde die für 300 Mm. Hg. gefundene Zahl 279 vollständig mit der berechneten Zahl 279 = 114 + 3 . 55 übereinstimmen, und auch bei 400 Mm. Hg. Druck die Differenz im ganzen nur 3, also 4 . 0,75 betragen.

Vierte Versuchsreihe.

Eine Gummiröhre wird mit Wasser gefüllt und zunächst die Eigenspannung gemessen. Man erhält einen Werth von 106 Grm.

Sodann wird das Innere der Röhre einem Wasserdruck von 1,25 Meter Höhe ausgesetzt. Die Spannung, welche darauf von neuem gemessen wird, beträgt nunmehr 158 Grm.

In einem dritten Versuch endlich wird der Wasserdruck bis auf 2,5 Meter erhöht. Der nunmehr gefundene Werth liegt zwischen 208—215 Grm., aber näher an 208.

Berechnen wir nunmehr das Gewicht, welches dem Druck einer Wassersäule von 1,25 Meter = ca. $^1/_8$ Atmosphärendruck auf einer Oberfläche von 40 Qu.-Mm. entspricht, so erhalten wir einen Werth von ca. 52 Grm.

Spannung der Röhre bei einem Drucke von	Gefundene Werthe.	Berechnete Werthe.
0	106	106
1,25 Mtr. Wasser	158	106 + 52 = 158
2,50 - -	208 bis 215	106 + 2.52 = 210

Hier entspricht bei einem Drucke von 1,25 Meter Wassersäule der berechnete Werth ganz genau dem bei der Messung wirklich gefundenen, und auch bei 2,50 Meter Wasserdruck liegt der berechnete Werth innerhalb der Zahlenbreite, welche die Messung ergeben, und sogar auch in so fern mit

dieser übereinstimmend, als die durch Rechnung gefundene Zahl 210 in Wirklichkeit, analog dem Messungsresultate, näher an 208 als zu 215 steht.

Die Resultate meiner Experimente werden, so hoffe ich, genügen, dass es mir gestattet ist, die folgenden fundamentalen Schlüsse aus ihnen abzuleiten:

1. Die Spannung einer Röhre ist gleich der Summe aus der Wandspannung und dem inneren Drucke der Flüssigkeit.
2. Der innere Druck (wie auch die Wandspannung) bezieht sich auf eine Oberfläche, welche dem doppelten Längen- und dem doppelten Breitendurchmesser der Pelotte, also dem vierfachen Flächendurchschnitte derselben entspricht, d. h. bei unserer Pelotte von 5 Mm. Länge, 2 Mm. Breite, einem Flächeninhalt von 40 Qu.-Mm.

Hierbei lasse ich es vorläufig dahin gestellt, ob die geringfügigen Abweichungen, welche wir beim Messen zwischen den gefundenen und den nach diesen Schlüssen berechneten Werthen gefunden, allein auf Fehlerquellen zurückzuführen sind, oder mit anderen Worten: ob die obige Schlussfolgerung dem wahren Sachverhalt nur annähernd oder vollständig entspricht. Diese Aufgabe wird nur die mathematische Berechnung oder eine noch genauere Messung, als ich sie angestellt, zu entscheiden im Stande sein. Für die Praxis ist jene Differenz so unerheblich, dass mag die Wage der Entscheidung nach der einen oder nach der anderen Richtung hin sich neigen, kaum ein nennenswerther Unterschied für unsere Anschauung daraus resultiren wird. Uebrigens spricht der Umstand, dass die gefundenen Zahlen bald etwas zu gross, bald etwas zu klein sind, für die grössere Wahrscheinlichkeit, dass die Abweichungen mehr von den oben genannten nicht zu vermeidenden Fehlerquellen als von einem bestimmten mathematischen Prinzip her-

rühren. Namentlich sehen wir beim Wasserdruck, wo die Fehlerquellen, betreffend die Säulenhöhe, nahezu fortfallen, die Uebereinstimmung zwischen Rechnung und Messung eine fast vollständige.

In gleicher Weise lasse ich es bis auf weiteres dahin gestellt, ob die obige zweite Schlussfolgerung sich auf Pelotten von beliebiger Form und Grösse verallgemeinern lasse oder nicht. Es genügt, dass sie für die Pelotte, welche wir bei den Messungen anwenden, ihre Richtigkeit hat.

Noch andere Schlüsse, die freilich nach physicalischen Gesetzen von vorn herein selbstverständlich waren, lassen sich aus den Experimenten ableiten.

3. Mit der Zunahme des Innendrucks erweitert sich das Lumen der Röhre.
4. Mit der Erweiterung der Röhre nimmt die Dicke der Röhrenwandung ab, bis diese bei einem gewissen Drucke reisst.

Wir erhielten folgende Zahlen:

Innendruck von Mm. Hg.	Gesammtdurchmesser der Röhre.	Lumen der Röhre.	Wanddicke.
0	7,11	5,02	1,07
100	—	5,45	—
200	7,75	5,89	0,93
300	8,25	6,55	0,85

Bei 400 Mm. Hg. platzte die Röhre.

Wir sehen zugleich, dass das Lumen der Röhre bei zunehmendem Drucke in stärkerer Progression wächst als die Drucksteigerung: Zwischen 0 Mm. und 100 Mm. Hg. Druck wuchs das Lumen im Durchmesser um 0,43 Mm., in der folgenden Reihe um 0,44 Mm., in der nächsten um 0,66 Mm. Zwischen 300 Mm. Druck und 0 Druck bestand eine Differenz im Lumen von 1,53, d. i. über 30 pCt. Nimmt man anstatt

des Durchmessers, wie nothwendig, den Flächenraum, so erhalten wir das Verhältniss der Quadrate der Durchmesser, wodurch die Differenz noch viel beträchtlicher erscheint. Es verhält sich dann das ursprüngliche Lumen der mit Hg. gefüllten Röhre zu dem bei einem Innendrucke von 300 Mm. Hg. wie 25 : 43, also ist das Lumen um 72 pCt. in seinem Flächendurchschnitt vergrössert worden. Einer weiteren bedeutenden Steigerung ihres Lumens konnte die Röhre keinen genügenden Widerstand mehr leisten, und sie platzte.

Ich will auch hier noch die Resultate der drei anderen Versuchsreihen, die oben in betreff des Drucks schon notirt sind, hinzufügen:

Zweite Versuchsreihe.

Bei 0	Mm.	Hg.	Druck	ist	das	Lumen	der	Röhre	4,30	Mm.
- 100	-	-	-	-	-	-	-	-	4,68	-
- 200	-	-	-	-	-	-	-	-	4,85	-
- 300	-	-	-	-	-	-	-	-	5,03	-

Dritte Versuchsreihe.

Bei 0	Mm.	Hg.	Druck	ist	das	Lumen	der	Röhre	4,72	Mm.
- 300	-	-	-	-	-	-	-	-	5,03	-
- 400	-	-	-	-	-	-	-	-	5,28	-

Vierte Versuchsreihe.

Bei 0	Meter	Wasserdruck	ist	das	Lumen	der	Röhre	4,87	Mm.
- 1,25	-	-	-	-	-	-	-	5,35	-
- 2,50	-	-	-	-	-	-	-	5,86	-

In der zweiten Versuchsreihe ist das Resultat in so fern ein von der ersten abweichendes, als die Differenz im Lumen der Röhre zwischen 0 Mm. Druck und 100 Mm. Hg. Druck grösser ist, als bei weiterer Zunahme des Drucks um je 100 Mm. Hg. Dagegen ist die Differenz zwischen 200 und 300 Mm. Druck

wieder ein wenig grösser als zwischen 100 und 200 Mm. Ich bemerke, dass bei dieser Versuchsreihe der Schlauch noch ganz neu, während er bei den anderen Versuchen durch frühere Experimente bereits etwas gedehnt war.

Die dritte und vierte Versuchsreihe geben Resultate, die der ersten analog sind. Besonders stark ist die Ausdehnung der Röhre in dem letzten Experiment. Bei einem Druck einer Wassersäule von 2,5 Meter, also $^1/_4$ Atmosphärendruck, wächst das Lumen im Durchmesser von 4,87 auf 5,86 Mm., also fast um ein volles Millimeter = 20,5 pCt. Auf den Querschnitt des Lumens berechnet, ergiebt dies eine Zunahme von mehr als 40 pCt.

II. Methoden der Blutdruckmessung.

Das wesentliche Ergebniss meiner Experimente war die Thatsache, dass sich die Spannung einer elastischen Röhre einfach zusammensetzt aus der Summe der Eigenspannung der Röhre und des auf ihrer inneren Oberfläche lastenden Druckes, berechnet auf eine Oberfläche von der doppelten Länge und der doppelten Breite, also des vierfachen Flächendurchschnitts der Pelotte.

Uebertragen wir dies auf die Arterien des lebenden Menschen, so kommen wir mit Nothwendigkeit zu folgendem Schlusse:

> Die Spannung der Arterie ist gleich der Summe aus der Eigenspannung der Arterienwand und dem Blutdruck, auch hier berechnet auf den doppelten Längen- und den doppelten Breitendurchmesser der Pelotte.

Ist die Arterie so breit, dass ihr Breitendurchmesser mindestens dem doppelten der Pelotte gleich ist, also mindestens

4 Mm. beträgt, so ist die mit der Pelotte gemessene Spannung auf den vierfachen Flächendurchschnitt der Pelotte, also auf 40 Qu.-Mm. zu beziehen. Ist dagegen die Arterie schmäler als 4 Mm., so ist es selbstverständlich, dass man für die Breitendimension keinen grösseren Werth, als den die Arterie selbst besitzt, annehmen und nur den Längsdurchmesser mit 2 zu multipliciren hat. Ist beispielsweise die Arterie nur 3 Mm. breit, so kann sich der Eindruck, welchen die Pelotte beim Messen auf sie macht, in der Breite nicht auf 4 Mm., sondern nur auf die 3 Mm. ihres Breitendurchmessers erstrecken, während derselbe Eindruck in der Längendimension nach wie vor, unserem Experiment analog, dem doppelten Längendurchmesser der Pelotte, also 10 Mm. gleichkommt. In diesem Falle berechnet sich der Druck also nicht auf einen Flächeninhalt von 40 Qu.-Mm., sondern nur von 30 Qu.-Mm.

Zu bemerken ist ferner, dass bei unseren Pulsmessungen auf der unverletzten Haut des Menschen, überall, wo wir von der Eigenspannung der Arterie sprechen, zugleich die Spannung der über der Arterie liegenden Weichtheile, speciell der Haut, mit einbegriffen ist. Es ist theoretisch und praktisch zwecklos, die Spannung der isolirten Arterie für sich allein messen zu wollen, da das Endresultat dadurch nicht im mindesten beeinflusst werden kann.

Nachdem die obigen Thatsachen festgestellt, handelt es sich darum, eine Methode zu finden, durch welche der Blutdruck für sich allein zu messen ist.

Mittelst der Pulsuhr waren wir im Stande, die Gesammtspannung der Arterie zu messen. Gelingt es uns, neben dieser auch noch die Eigenspannung der Arterie, unabhängig vom inneren Drucke, d. h. vom Blutdruck, zu messen, so ist unsere Aufgabe gelöst, indem wir dann nur nöthig haben, beide Werthe von einander zu subtrahiren, um den Blutdruck auf einer Oberfläche von bekannten Dimensionen zu erhalten.

Diesen Weg schlug ich ein und gelangte zu zwei Methoden, durch welche der Blutdruck messbar ist.

Beide Methoden laufen im wesentlichen darauf hinaus, die Eigenspannung der Arterie dadurch zu finden, dass man die Arterie oberhalb der Stelle, an der man misst, mit dem Finger oder durch eine Art Tourniquet comprimirt und auf diese Weise den Blutdruck eliminirt.

Ich liess mir zu diesem Zwecke ein einfaches Tourniquet anfertigen, welches vor dem Beginn der Messung an die richtige Stelle, vorläufig ohne jeden Druck, angelegt wird, um später, sobald der Blutdruck eliminirt werden soll, durch eine Schraubenbewegung an demselben die Arterie zu comprimiren.

Man wähle eine Stelle an der Radialis, einige Centimeter centralwärts von der Pelotte, wo die Arterie noch gut zu fühlen und wirksam zu comprimiren ist. Auch hier ist es gut, vor dem Beginn der Messung die Stelle durch einen schwarzen Stift anzuzeichnen.

Die grosse Schwierigkeit, die Eigenspannung der Arterie nach Elimination des Blutdrucks zu messen, besteht darin, dass mit der Compression der Arterie auch der Puls verschwindet, also der Massstab dafür verloren geht, in welchem Moment die Arterie zusammengedrückt ist.

Ich musste deshalb eine Methode suchen, welche diese Messung gestattet, auch ohne dass der Puls uns als Wegweiser dient. Diese Methode ergab sich aus meinen oben angeführten Experimenten an elastischen Röhren.

Erste Methode der Messung.

Wir hatten gefunden, dass bei den Druckmessungen an elastischen Röhren sich der Zeitpunkt ziemlich deutlich markirt, bei welchem wir am Verstreichen des Lumens der Röhre angelangt sind. Während, so lange noch Flüssigkeit in der Röhre, wenn auch unter noch so hohem Drucke (wenigstens für die

vorliegenden Verhältnisse hoch genug), vorhanden war, die Drucksteigerung sich in relativ niedrigen Grenzen, 10 und noch weniger bis höchstens 40 pCt. (nur ausnahmsweise 50 pCt.), und umgekehrt der Weg des grossen Zeigers im Verhältniss zum kleinen immer noch gross blieb, 60—90 pCt. und noch mehr (selten bis zu 50 pCt.), kehrte sich das Verhältniss um, sobald das Lumen der Röhre verstrichen war, also die Resistenz resp. Consistenz der Röhrenwandung selbst in Betracht kam. Gewöhnlich fanden wir hierbei eine Anfangsspannung von 60 pCt., die dann auf 80—90 pCt. wuchs, und umgekehrt den Weg des grossen Zeigers nur 40 pCt., auf 20—10 pCt. sinkend.

Das gleiche Verhalten war mir bereits lange vorher bei den Pulsmessungen aufgefallen, und es liegt ausserdem a priori kein Grund zu der Annahme vor, als könnte hier eine Abweichung von dem Verhalten anderer elastischer Röhren stattfinden.

Die einzige Schwierigkeit besteht hierin, zunächst die Consistenz der lebenden Membranen festzustellen, um zu wissen, wann wir an dem Punkt angelangt sind, wo die Messung des Lumens aufhört und die Messung der Consistenz anfängt. Wo die Consistenz der lebenden Membranen, oder besser die durch ihre Consistenz bedingte Resistenz zu wirken anfängt, da ist bereits jede Flüssigkeit aus den Hohlräumen der Gewebe ausgetrieben, nicht nur das Blut aus dem Lumen der Arterie, sondern auch das Blut aus den Capillaren und sicherlich auch die Lymphe aus den Lymphgefässen, weil die letzteren sowohl wie das Capillarblut unter einem viel geringeren inneren Drucke stehen, als das Arterienblut.

Wir dürfen deshalb die bei unseren Pulsmessungen gewonnenen Zahlen, bei welchen wir ja den Zeitpunkt wissen, wo der Puls aufhört, also das Lumen der Arterie verstreicht, ohne weiteres der Resistenzbestimmung der von ihrem flüssigen Inhalt befreiten Weichtheile — Arterienwand plus Haut und Unterhautgewebe, resp. auch Sehnen — zu Grunde legen. Wir erhalten dann Resultate, die den an elastischen Röhren gewonnenen auf-

fallend analog sind, wie wir an späteren Tabellen sehen werden. Aus diesen Gesichtspunkten ergiebt sich folgende Methode der Messung:

Man führe zunächst die Messung der Pulsgrösse, Füllung und Spannung der Arterie in der Weise aus, wie früher (p. 41 ff.) ausführlich beschrieben. Nachdem man an dem Punkte angelangt, wo der Puls erlischt, schraube man noch weiter, etwa so weit, dass der kleine Zeiger noch weitere 100 Mm. zurücklegt, und zwar von 20 zu 20, oder von 10 zu 10 vorschreitend und die Werthe für den grossen und kleinen Zeiger notirend.

Man findet auf diese Weise, wie gross die Anfangsresistenz der von Blut (und Lymphe) befreiten Gewebe ist — diejenige Resistenz, welche bei meinen Experimenten an elastischen Röhren 60 pCt. betrug. Oder mit anderen Worten, man findet, in welchem Verhältniss der Weg des grossen zu dem des kleinen Zeigers zu Anfang fortschreitet — ein Werth, der bei der Gummiröhre 40 pCt. betrug.

Hat man auf diese Weise die Resistenz der von Blut befreiten Gewebe gefunden, so schraubt man am Schlüssel bis zum Nullpunkt zurück und beendet die Messung ganz in derselben Weise, wie früher auseinandergesetzt wurde, indem man den Punkt aufsucht, bei welchem die Pelotte die Haut noch eben berührt und noch Pulsbewegungen sichtbar sind.

Nachdem man so die Pulsmessung beendet, schreitet man zur Blutdruckmessung.

Zunächst wird das Tourniquet fest angezogen und durch die Schraube die Arterie comprimirt. Um keinen überflüssigen Druck anzuwenden, ist es gut, vor dem Versuch festzustellen, bis zu welchem Schraubengang man zu drehen hat, um den Puls zu unterdrücken.

Darauf beginne man die Messung mit der Pulsuhr, anfangs von 50 zu 50 Weg des kleinen Zeigers vorschreitend, später, wenn man dem gewünschten Ziele schon näher gerückt zu sein glaubt, von 10 zu 10 vorschreitend. Man hat hierbei zugleich

die Controle, ob die Arterie wirklich durch das Tourniquet vollständig comprimirt ist; denn sobald dies der Fall, darf beim Vorrücken der Zeiger kein Puls zum Vorschein kommen.

Man wird nun anfangs beim Messen Drucksteigerungen beobachten, die sich in relativ niedrigen Grenzen — etwa 10—20, höchstens 30—40 pCt. — halten, resp. wird der grosse Zeiger immer ziemlich beträchtlich mit dem kleinen vorrücken, so dass sein Weg 80—90 pCt., oder mindestens 60—70 pCt. von dem des kleinen beträgt. Plötzlich wird dies Verhältniss ein anderes werden, und es treten dann diejenigen Procentsätze auf, welche zuvor festgestellt waren als der Resistenz der Gewebe entsprechend.

Ist dieser Punkt erreicht, so hat man in der betreffenden Reihe die Spannung abzulesen. Diese Spannung entspricht der Eigenspannung der (mit der Haut überdeckten) Arterie. Zieht man diese Spannung ab von der zuvor gefundenen Gesammtspannung, so hat man den Werth für das Gewicht, welches dem Blutdruck entspricht. Man hat diesen Werth auf eine Oberfläche von 40 Qu.-Mm., oder, wenn die Arterie schmäler als 4 Mm. ist, auf eine Oberfläche von dem 10fachen Durchmesser der Arterie zu übertragen, um daraus den Blutdruck nach dem Barometermass zu berechnen.

Das gefundene Gewicht sei = a. So entspricht a einer Oberfläche von 40 Qu.-Mm., folglich $\frac{100 \,.\, a}{40}$ einer Oberfläche von 100 Qu.-Mm. Nun ist der Druck einer Atmosphäre, oder der Barometerdruck (bar.) auf einer Oberfläche von 100 Qu.-Mm. = 1033 Grm., folglich

$$x : \text{bar.} = \frac{100\ a}{40} : 1033$$

$$x = \frac{100 \,.\, a \,.\, \text{bar.}}{40 \,.\, 1033} = \frac{a \,.\, \text{bar.}}{413.}$$

Man hat also in die letzte Formel den für a gefundenen

Werth und für bar. den jeweiligen Barometerdruck einzufügen, um den Blutdruck x zu finden.

Ergiebt die Pulsmessung einen kleineren Durchmesser als 4 Mm., und zwar sei derselbe = d, so ändert sich die Formel folgendermassen:

$$x = \frac{100 . a . bar.}{10 . d . 1033} = \frac{a . bar.}{103 . d.}$$

Diese Methode der Blutdruckmessung führt in den meisten Fällen zu brauchbaren Resultaten. Indess wurde mir bald klar, dass sie einen grossen Aufwand an Zeit und Mühe erfordert. Die Messung muss sehr subtil ausgeführt werden, die zu messende Person ihrerseits muss sehr still halten, wenn nicht Fehlerquellen einschlüpfen sollen. Zudem ist bei manchen Personen die Resistenz der Gewebe im Verhältniss zur Arterienspannung nicht so prägnant markirt, dass der Zeitpunkt, wo die erstere sich geltend zu machen beginnt, über jeden Zweifel erhaben sich feststellen lässt, ohne dass abweichende Deutungen möglich sind.

Diese Schattenseiten der Methode, welche ich nicht verkannte, regten mich an, eine andere Methode aufzusuchen, welche besser zum Ziele führt. Es ist mir gelungen, eine solche Methode zu finden, welche viel einfacher als die eben beschriebene ist und, wie zu hoffen, in allen Fällen mit weniger Zeitaufwand und Mühe ein erwünschtes Resultat liefert.

Zweite Methode der Messung.

Diese zweite Methode ist es, welche ich zuletzt fast ausschliesslich geübt habe, und die ich ganz besonders zur Nachahmung empfehle. In manchen Fällen bediente ich mich gleichzeitig beider Methoden, um die eine durch die andere zu controliren. Auch hierbei ergab sich, dass die zweite Methode zu präcisen Resultaten führte, wo die erste Methode leicht verschiedenen Deutungen Raum gegeben und auf diese Weise Zweifel übrig gelassen hätte.

Die Methode beruht auf folgendem Princip:

In dem Momente, in welchem bei der Pulsmessung der Puls so eben zum Verschwinden gebracht ist, zeigt die Differenz zwischen dem Weg des kleinen und dem des grossen Zeigers die Gesammtspannung der Arterie an. Diese setzt sich zusammen aus Arterienwandspannung und Blutdruck. Eliminirt man nun in diesem Momente durch Compression der Arterie centralwärts von der gemessenen Stelle den Blutdruck, so bleibt nur noch die Arterienwandspannung durch den Pelottendruck zu bekämpfen übrig. Um dieses zu bewirken, ist aber nicht mehr der frühere Druck erforderlich, sondern einer, der um den Werth des Blutdrucks kleiner geworden ist. Nothwendig tritt nun dasjenige ein, was man sich jeder Zeit leicht an der Pulsuhr demonstriren kann, nämlich der grosse Zeiger rückt gerade um so viel vor, wie der Druck sich verringert hat; d. h. der durch den Ausfall des Innendrucks frei gewordene Ueberdruck der Feder treibt die Pelotte, resp. den grossen Zeiger so weit vorwärts, bis der Ueberdruck ausgeglichen ist.

Das Experiment, um diesen Vorgang auf's einfachste zu demonstriren, ist folgendes: Man drehe an der frei stehenden Pulsuhr so weit, dass der kleine Zeiger bis zu einem beliebigen Punkte, beispielsweise 300, vorgerückt ist. Findet die Pelotte keinen Widerstand, so folgt der grosse Zeiger gleichfalls bis 300. Hält man aber, während man dreht, den Finger mit einem beliebigen Drucke gegen die Pelotte, so wird, wenn der Druck gross genug ist, der grosse Zeiger überhaupt nicht oder nur bis zu einem gewissen Punkte, dem Widerstand, welchen der Finger leistet, entsprechend, vorrücken, beispielsweise bis 180. In dem Moment nun, wo der Finger wieder fortgenommen wird, rückt der grosse Zeiger auf 300, also um 120 weiter. Diese 120 entsprachen genau dem Widerstand, welchen der Finger leistete.

Dasselbe, was in diesem einfachen Experiment der Finger thut, bewirkt bei unseren Messungeu der Blutdruck. Fällt dieser

plötzlich fort, so rückt der grosse Zeiger um so viel vor, dass dadurch der Minderdruck ausgeglichen wird.

Nun kann es aber vorkommen, dass wenn der Blutdruck eliminirt wird, dennoch der grosse Zeiger nicht genügend vorrücken kann, weil die Pelotte bereits nahe an die Grenze der Compressibilität der Weichtheile angelangt ist, resp. die Consistenz der letzteren dem weiteren Vordringen der Pelotte bei dem momentan vorhandenen Druck Widerstand leistet. In diesem Falle ist also der Werth, um welchen der grosse Zeiger vorgerückt ist, zu klein. Was aber an dem dem Blutdruck wirklich entsprechenden Werthe fehlt, lässt sich durch den folgenden Kunstgriff sehr einfach auffinden:

Ist nämlich, nachdem die Arterie duich den Finger oder das Tourniquet comprimirt ist, der grosse Zeiger, bei stehen gebliebenem kleinenZeiger, bis zu einem gewissen Punkte vorgerückt, so drehe man sehr vorsichtig und langsam am Schlüssel rückwärts. Es weicht dadurch der kleine Zeiger — eben so langsam, wie man dreht — zurück. War nun der grosse Zeiger bereits vor dem Zurückdrehen an demjenigen Punkte angelangt, welcher in Wirklichkeit dem aufgehobenen Blutdruck entsprach, so weicht er sofort mit dem kleinen Zeiger zugleich zurück. War er jedoch durch die Resistenz der Weichtheile an einem genügenden Vorrücken gehindert worden, so wird er beim Zurückgehen des kleinen Zeigers noch so lange an seinem alten Platze stehen bleiben, bis der der vorhandenen Lage entsprechende Druck (Differenz zwischen grossem und kleinem Zeiger) sich hergestellt hat. Erst mit dem Momente, wo der kleine Zeiger so weit zurückgeht, dass der Druck kleiner wird als die Arterienspannung, kann auch der grosse Zeiger zurückweichen.

Man hat demnach, um einen richtigen Werth für den Blutdruck zu erhalten, zu dem Wege, um welchen der grosse Zeiger bei der Umschnürung der Arterie vorgerückt ist, noch denjenigen hinzuzufügen, um welchen der kleine Zeiger zurückgedreht werden konnte, ehe der grosse vom Platze wich; oder mit anderen

Worten der Blutdruck entspricht der Druckdifferenz zwischen der gesammten Arterienspannung und derjenigen Spannung, welche in dem Momente vorhanden ist, in welchem der vorgerückte grosse Zeiger dem zurückgeschraubten kleinen Zeiger zu folgen beginnt.

Die später mitzutheilenden Messungen werden dies erläutern. Vorläufig möchte ich das Verhältniss an einigen einfachen Beispielen klar machen:

Gesetzt, wir hätten in dem Momente, in welchem der Puls bei der Messung so eben unterdrückt ist, folgende Reihe:

Stand des kleinen Zeigers	Stand des grossen Zeigers	Spannung resp. Druck.
800	560	240

Nun wird die Arterie centralwärts durch das Tourniquet comprimirt. Während dies geschieht, rückt der grosse Zeiger allmälig vor und bleibt endlich, so wie die Compression beendet, bei 670 stehen.

Stand des kleinen Zeigers.	Stand des grossen Zeigers.	Spannung resp. Druck.
800	670	130

Der grosse Zeiger ist demnach bei stillstehendem kleinen um 110 vorgerückt, und um diese 110 ist der Druck vermindert.

Nun drehe man am Schlüssel sehr langsam zurück. Geht der grosse Zeiger beim Beginn des Zurückdrehens sofort zurück, so ist kein Ueberdruck vorhanden, und der constatirte Druck von 130 Gramm entspricht thatsächlich der gerade vorhandenen Spannung, d. h. der Eigenspannung der Arterie (plus Weichtheile). Die Gesammtspannung der Arterie war 240, die Wandspannung 130, die Differenz 110 Gramm entspricht demnach dem Blutdruck, die nach der obigen Formel in Barometerdruck umzuwandeln ist. Oder in anderer Weise ausgedrückt: Durch die Elimination des Blutdrucks ist der grosse Zeiger von 560 auf 670 bei stillstehendem kleinen vorgerückt. Es ist also eine

Spannungsverminderung von 670 — 560 = 110 eingetreten, welche dem aufgehobenen Blutdruck entspricht.

Setzen wir dagegen den zweiten Fall: So wie man am Schlüssel langsam zurückdreht, weicht zunächst nur der kleine Zeiger zurück, der grosse bleibt stehen bis zu dem Moment, an welchem der kleine Zeiger bei 780 angelangt ist.

Stand des kleinen Zeigers	Stand des grossen Zeigers	Spannung resp. Druck
780	670	110

In diesem Falle entspricht die Spannung 110 (= 780 — 670) der Arterienwandspannung, und der Blutdruck ist gleich der Differenz dieser von der Gesammtspannung = 240 — 110 = 130. Oder mit anderen Worten: Die Elimination des Blutdrucks bewirkte eine Spannungsabnahme. welche sich zusammensetzte aus dem Wege des grossen Zeigers 670 — 560 = 110 plus dem Rückwege des kleinen Zeigers 800 — 780 = 20, also in summa 130.

Man könnte die Frage aufwerfen: wie ist es möglich, dass nachdem die Arterie durch die Pelotte bereits zusammengedrückt und, unsrer Annahme nach, auch bereits das Blut aus den Capillaren und wahrscheinlich auch die Lymphe aus ihren Gefässen herausgepresst ist, die Pelotte überhaupt noch Raum zum weiteren Vorschreiten findet? Dass sie in Wirklichkeit vorschreitet, also Raum findet, ist nach meinen Experimenten ein nicht anzuzweifelndes Factum; dasselbe ist nur so zu erklären, dass bei Zunahme des Drucks Ernährungsflüssigkeit nicht nur aus den Gefässräumen, sondern aus den Geweben selbst herausgepresst wird, ganz abgesehen von der sonstigen Compressibilität der Gewebe. Es handelt sich also auch hier wieder um die Consistenz der Gewebe, welche bald mehr, bald weniger Widerstand dem Vorrücken der Pelotte entgegensetzt.

Die Methode der Messung, welche ich anwende, gestaltet sich hiernach folgendermassen:

Zunächst vor der Messung loses Anlegen des Tourniquets

an der richtigen, vorher angezeichneten Stelle, wie bei der ersten Methode.

Sodann Messung der Pulsgrösse, Arterienfülle, Spannung, genau so wie früher gelehrt worden (p. 41 ff.).

Ist man, nachdem man etwas über das Ziel hinausgeschraubt und dann wieder zurückzuschrauben beginnt, an dem Punkte angelangt, an welchem sich die erste Spur des Pulses zu zeigen beginnt,so hat man diejenige Reihe, in welcher — mit Berücksichtigung der später beim Zurückdrehen zu machenden Abzüge — die Fülle und Gesammtspannung der Arterie angezeigt wird.

Nunmehr wird das Tourniquet vorsichtig angezogen, und die Pelotte derselben so weit herabgedreht, dass dadurch die Radialis comprimirt ist. Zuvor habe man sich versichert, bei welcher Umdrehung der Schraube dieser Zeitpunkt eintritt, um nicht unnützer und schädlicher Weise einen zu grossen Druck anzuwenden.

Mit dem Anziehen des Tourniquets rückt der grosse Zeiger vor, bis er bei vollendeter Compression an einem Punkte stehen bleibt, den man notirt. Man warte übrigens etwa eine halbe bis eine Minute, ob der Zeiger nicht noch weiter vorschreitet.

Darauf drehe man äusserst langsam am Schlüssel zurück, immer den grossen Zeiger genau beobachtend, bis derselbe eine Bewegung rückwärts macht. Ist dieser Zeitpunkt eingetreten, so notire man den Stand des kleinen Zeigers: die Differenz zwischen beiden Zeigern entspricht dem vorhandenen Druck, d. h. der Wandspannung der Arterie. Diese abgezogen von der Gesammtspannung, ergiebt den Werth für das dem Blutdruck entsprechende Gewicht.

Dieses Gewicht rechne man nach Vollendung des Versuchs in den Barometerdruck um, indem man sich derselben Formeln bedient, die oben bei der ersten Methode p. 185 und 186 auseinander gesetzt sind.

Zuvor gehe man an die Vollendung der Messung. Man löse das Tourniquet, ohne die Hand aus ihrer Stellung zu

rücken. Sofort erscheint beim Zurückdrehen der Puls. Nun drehe man so weit zurück, bis der Puls wieder verschwindet, ganz in früher angegebener Weise (p. 46).

Will man auch noch die erste Methode zur Controle der zweiten hinzufügen, so schraube man von neuem vor und verfahre in der Weise, wie oben beschrieben (p. 184).

Ich habe die Blutdruckmessung, namentlich nach der zweiten Methode, in einer Reihe von Fällen bereits mit befriedigendem Erfolge ausgeführt. Ich werde dieselben weiter unten in extenso mittheilen.

III. Control-Versuch am Hunde.

Obgleich ich aus meinen mitgetheilten Experimenten an elastischen Schläuchen zu einem sicheren Resultat gekommen zu sein glaubte, hielt ich es doch für angemessen, auch an einem lebenden Thiere die Richtigkeit desselben zu prüfen. Ich verfolgte demgemäss den Plan, an einer grossen Arterie des Hundes gleichzeitig mittelst Manometer und mittelst Pulsuhr den Blutdruck zu messen und beide Ergebnisse mit einander zu vergleichen.

Herr Prof. H. Munk, auf dessen Laboratorium ich das Experiment ausführte, so wie Herr Dr. Grunmach unterstützten mich dabei in freundlichster Weise. Herr Munk leitete selbst die Anordnung des Versuchs und machte gemeinsam mit Herrn Grunmach die nothwendigen Operationen so wie die Beobachtung am Manometer, während ich die Untersuchung mit der Pulsuhr anstellte.

Es wurde ein grosser, sehr kräftiger Hund zum Experiment gewählt. Nachdem er durch subcutane Injection von ca. 0,24 Morphium narcotisirt und in gewohnter Weise auf dem Tische

festgebunden war, wurde zuerst die rechte, dann die linke Arteria cruralis etwa 4 Ctm. lang freigelegt. In die erstere wurde lege artis nach Unterbindung des peripherischen Endes eine Glasröhre, die zum Manometer führte, eingebunden, und eben so wie das letztere und die zu ihm führende Schlauch- und Glasröhren-Verbindung mit Solutio Natri carbonici gefüllt. Das Manometer gab einen kräftigen Ausschlag.

Nunmehr wurde unter das linke Bein des Hundes die Pulsuhr, nach Entfernung der für den Arm bestimmten Schiene, untergeschoben und die Pelotte genau auf die Arteria cruralis eingestellt.

Mit der Berührung der Arterie beginnt die erste Spur des Pulses:

Kleiner Zeiger.	Grosser Zeiger.	Druck. Grm.	Grösse des Pulsausschlags.
25	25	0	Erste Spur
100	95	5	4
150	143	7	6
200	185	15	8
250	230	20	10
300	278	22	11
350	320	30	12
400	365	35	13
450	410	40	15
500	453	47	15
550	490	60	18
600	530	70	18
650	580	70	20
700	618	82	25
800	715	85	20
900	778	122	3
1000	840	160	Spur

Kleiner Zeiger.	Grosser Zeiger.	Druck. Grm.	Grösse des Pulsausschlags.
1100	900	200	Spur
1200	950	250	"
1260	990	270	0
	rückt auf		
	1005	255	0

Nunmehr wird langsam zurückgedreht.

Es beginnt die erste Spur der Pulsation bei:

1200	1005	195	Spur.

Hierauf wird die Arterie centralwärts, in möglichst weiter Entfernung von der Pelotte und ohne dass dieselbe an der letzteren verschoben wird, mit dem Finger comprimirt. Es rückt nun der grosse Zeiger vor auf 1040:

1200	1040	160	0.

Beim Zurückdrehen am Schlüssel geht auch der grosse Zeiger sofort mit zurück.

Wir haben demnach durch die Compression der Arterie eine Abnahme der Spannung um 35 Grm. erhalten, welche dem Blutdruck entsprechen.

Nach der oben angegebenen Formel sind 35 Grm. äquivalent $\frac{35 \cdot 760}{413}$ Mm. Hg., d. h. = 64,4 Mm. Quecksilberdruck.

Das Manometer an der anderen Cruralis ergab inzwischen folgende Werthe:

Die Schwankungen der Quecksilbersäule waren sehr beträchtliche: das Minimum des Druckes betrug 60 Mm., das Maximum schwankte zwischen 104 und 128 Mm. Ein Verengern des Schlauches zwischen Manometer und Cruralis, gleich am Anfang des Versuchs vorgenommen, liess die Quecksilbersäule zwischen 74 und 76 Mm. Druck pendeln; so dass diese Zahlen wohl dem mittleren Druck am nächsten liegen.

Die durch die Pulsuhr gewonnene Zahl liegt demnach in-

nerhalb der vom Manometer angezeigten Grenzen und ist um 9,6—11,6 Mm. kleiner, als die durch die Methode des Schlauchverengerns am Manometer gefundene Mittelzahl[1]). Da nun auf der Seite, welche das Manometer mass, die Arterie peripherisch unterbunden, dagegen auf der anderen Seite, wo die Pulsuhr war, die Arterie nicht unterbunden, sondern durchgängig war, so musste an der letzteren der Druck naturgemäss kleiner ausfallen — womit das obige Ergebniss übereinstimmt.

Um nun noch grössere Harmonie zwischen den Messungen beider Seiten herzustellen, wurde nunmehr auch die Arteria cruralis der linken Seite peripherisch unterbunden.

Unterdess war das Blut in der Arteria cruralis der rechten Seite, in welcher die Glasröhre lag, geronnen, und es wurden Injectionen von Solutio Natri carbonici in die Arterie gemacht, um die Obstruction zu beseitigen. Dies gelang vollkommen. Nach diesen Injectionen stieg der Blutdruck in der Arterie sehr bedeutend an. Das Thier wurde unter lebhaften Schmerzensäusserungen theilweise ermuntert und wurde darauf durch Aether-Inhalationen weiter narcotisirt. Der Druck im Manometer betrug in minimo 60 Mm., in maximo 140 Mm. Der mittlere Werth wurde beim Verengern des Schlauchs auf ca. 90 Mm. festgestellt.

Um den Versuch möglichst schnell vor etwaigem Eintritt einer neuen Blutgerinnung zu beendigen, verzichtete ich, bei der neuen Messung an der Pulsuhr die einzelnen Phasen derselben aufzuzeichnen, und suchte nur den Blutdruck festzustellen.

Ich will nur bemerken, dass die Grösse des Pulses wesentlich zugenommen hatte, sie war bis auf 0,30 Mm. gestiegen. Der Puls war bei folgendem Stand der Zeiger im letzten Verschwinden:

Kleiner Zeiger.	Grosser Zeiger.	Druck.	Puls.
1230	995	235	Letzte Spur.

[1]) Vergl. v. Kries: Ueber die Bestimmung des Mitteldrucks durch das Quecksilbermanometer. Du Bois-Reymonds Archiv. 1878. — Centralbl. für die med. Wissensch. 28. 1879.

Es wurde nun von Herrn Prof. Munk die Arterie centralwärts mit grosser Vorsicht ohne jede Verschiebung derselben aut einer untergeschobenen Hohlsonde mit dem Finger comprimirt. Der Stand der Zeiger änderte sich nicht; selbstverständlich schwand der Puls vollständig. Nun drehte ich am Schlüssel sehr langsam rückwärts: der kleine Zeiger ging zurück, der grosse blieb unbeweglich, bis der erstere bei 1183 angelangt war, dann folgte auch er:

Kleiner Zeiger.	Grosser Zeiger.	Druck.
1183	995	188.

Unter der Digitalcompression ist somit die Spannung um 47 Mm. vermindert worden. Diese 47 Mm. kommen auf Rechnung des Blutdrucks und entsprechen $\frac{47 \,.\, 760}{413} = 86{,}5$ Mm. Quecksilberdruck.

Wir haben demnach eine ziemlich nahe Uebereinstimmung zwischen den Resultaten der Manometer- und der Pulsuhr-Messung: das Ergebniss der letzteren 86,5 Mm. liegt nicht nur innerhalb der Breite der Quecksilberschwankungen am Manometer, d. h. zwischen 60 und 140 Mm., sondern kommt auch dem durch Verengern des Schlauches gewonnenen Mittelwerth von ca. 90 Mm. um 3,5 Mm. nahe. Ich glaube, dass eine solche Uebereinstimmung befriedigend genug ist, zumal die Messung von beiden Instrumenten nicht an derselben Arterie, sondern nur an der gleichen Arterie beider Seiten ausgeführt wurde und die Schwankungen der Quecksilbersäule, somit das Hinüberpendeln derselben weit über ihre Mittelstellung hinaus, sehr beträchtlich waren.

Im zweiten Versuch zeigte die Pulsuhr den Blutdruck um 21 Mm. höher an als im ersten. Diese Erhöhung wurde bewirkt: 1) durch die peripherische Unterbindung der Arterie, 2) durch die Injection von Natr. carbonicum in's Blut. Auch das Manometer zeigte ja nach der Injection eine ähnliche Blutdruckerhöhung an.

Nicht nur der Blutdruck, sondern auch die Gefässspannung war im zweiten Versuch erhöht:

Im ersten betrug die Gesammtspannung 195 Grm., wovon 35 Grm. auf den Blutdruck, 160 Grm. auf die Wandspannung kamen; im zweiten stieg die Gesammtspannung auf 235 Grm., wovon 47 dem Blutdruck, 188 Grm. der Wandspannung zufallen. Die Wandspannung an sich ist also auch durch die angeführten Momente vermehrt worden.

Desgleichen sehen wir auch, wie bereits angeführt, die Pulsgrösse anwachsen und zwar von 0,25 Mm. im ersten auf 0,30 Mm. im zweiten Versuch.

Der Arteriendurchmesser, im ersten Versuch gemessen, war $= 10{,}05 - 0{,}25 = 9{,}80$ Mm. Das Verhältniss der Pulsgrösse zu demselben ist somit gleich $2 \,.\, 0{,}25 : 9{,}80 = \frac{1}{19{,}6}$. Die Pulskraft ist $= 82 \,.\, 0{,}25 = 20{,}5$ Grm.-Mm.

IV. Fälle von Blutdruckmessung am Menschen.

Ich will nunmehr eine Reihe von Blutdruckbestimmungen, die ich ausführte, in extenso mittheilen. Da es die ersten Messungen dieser Art sind, so halte ich es für nicht unwichtig, sie in ihren Details zu veröffentlichen, damit sie gleichsam als Schema für spätere Beobachtungen dienen können:

1. Dr. phil. Blm., 30 Jahre alt, ca. 157 Ctm. gross. Pharyngo-Laryngitis. Sonst gesund.

Gemessen nur nach der ersten Methode, bevor ich die zweite, bessere Methode gefunden hatte.

Stand des kleinen Zeigers in Mm.	Stand des grossen Zeigers in Mm.	Differenz beider = Druckwerth in Grm.	Pulsgrösse in $^1/_{100}$ Mm.	Spannungszunahme in pCt. des Weges des kleinen Zeigers.	Verhältniss des Weges des grossen Zeigers zu dem des kleinen in pCt.
120	110	10	Spur	—	—
200	169	31	3	26	74
250	194	56	5	50	50
300	224	76	7	40	60
350	252	98	9	44	56
400	279	121	10	46	54
450	303	147	8	52	48
500	327	173	5	52	48
550	344	206	4	66	34
600	366	234	3	56	44
650	386	264	2	60	40
700	406	294	1	60	40
750	431	319	1	50	50
800	457	343	0,5	48	52
850	486	364	Spur	42	58
900	496	404	0	80	20
	rückt innerhalb 3 Minuten auf				
—	525	375	0	22	88
Zurückdrehen. Der Puls erscheint wieder bei:					
860	516	344	Spur	77	23
Zurückdrehen bis zum Verschwinden des Pulses:					
80	72	8	0	43	57

Wieder vorwärts drehen:					
80	72	8	0	—	—
400	304	96	10	28	62
Compression des Pulses:					
400	294	106	0	—	—
450	317	133	0	54	46
500	342	158	0	50	50
550	355	195	0	74	26
600	369	231	0	72	28
610	376	234	0	30	70
620	379 rückt allmälig auf				
620	385	235	0	10	90
630	385	245	0	100	0
640	385	255	0	100	0
650	385	265	0	100	0
Nachlass der Compression:					
650	416	234	1	—	—

Durchmesser der Arterie = 5,16 — 0,72 = 4,44 Mm.

Grösse des Pulses = 0,10 Mm.

$$\text{Blutumlaufsquotient} = \frac{4,44}{2 \,.\, 0,10} = 22.$$

Pulskraft = 0,10 . 121 = 12,1 Gramm-Millimeter.

Gesammtspannung = 344 — 8 = 336 Gramm.

Wandspannung = 235 — 8 = 227 Gramm.

Blutdruck = 336 — 227 = 109 Gramm.

$$x = \frac{109 \,.\, \text{bar.}}{413} = \frac{109 \,.\, 760}{413}.$$

Blutdruck = 200 Mm.

2. Frau Fr. Jff., 23 Jahre alt, ca. 170 Ctm. gross.

Auch in diesem Falle ist der Blutdruck nur nach der ersten Methode, noch bevor ich die zweite, bessere gefunden hatte, gemessen.

Stand des kleinen Zeigers in Mm.	Stand des grossen Zeigers in Mm.	Differenz beider = Druckwerth in Grm.	Pulsgrösse in $^{1}/_{100}$ Mm.	Spannungszunahme in pCt. des Weges des kleinen Zeigers.	Verhältniss des Weges des gross. Zeigers zu dem des kleinen in pCt.
400	333	67	Spur	—	—
500	391	109	2	42	58
550	421	129	3	40	60
600	446	154	4	50	50
650	476	174	4	40	60
700	501	199	4	50	50
750	531	219	2	40	60
800	546	254	1	70	30
850	563	287	Spur	66	34
900	588	312	„	50	50
	rückt auf				
—	607	293	0	12	88
1000	654	346	0	53	47
Zurückdrehen, bis die erste Spur des Pulses wieder erscheint.					
920	649	271	Spur	94	6
Zurückdrehen, bis der Puls verschwindet.					
350	324	26	0	43	57
Wieder vorwärts drehen.					
600	446	154	5	51	49
Compression der Arterie.					
600	471	129	0	—	—
620	477	143	0	70	30
630	482	148	0	50	50
640	486	154	0	60	40
650	491	159	0	50	50

660	494	166	0	70	30
670	497	173	0	70	30
680	500	180	0	70	30
690	501	189	0	90	10
700	504	196	0	70	30
800	531	269	0	73	27

Durchmesser der Arterie 6,49 — 3,24 = 3,25 Mm.

Grösse des Pulses = 0,04, später 0,05 (vergl. unten).

Blutumlaufsquotient $\frac{3,25}{2 \cdot 0,04} = 40$; später 32,5.

Pulskraft 0,04 . 199 = 7,96 Grm.-Mm.

Gesammtspannung 271—26 Grm. = 245 Grm.

Wandspannung steht am nächsten der Zahl 159 (minus 26 Endspannung), weil von dort an die Resistenz von 50 auf 70 pCt. anschwillt und später noch wächst; also Wandspannung = 159 — 26 = 133 Grm.

Folglich Blutdruckspannung = 245 — 133 = 112 Grm.

$$x = \frac{112 \cdot 760}{103 \cdot 3,25} = 259.$$

Blutdruck = 259 Mm. Hg.

Zu bemerken ist hier noch, dass bei der ersten Messung die Pulsgrösse 0,04 betrug, dieselbe dagegen beim zweiten Versuch = 0,05 war. Eine Erhöhung der Pulsgrösse nach der Compression der Arterie vermittelst der Pelotte habe ich häufig beobachtet. Sie kommt wohl auf Rechnung der durch den vorangegangenen Druck etwas verminderten Wandspannung.

3. Frau Dmg., 38 Jahre alt.

Sehr gross (ca. 170 Ctm.) und hager. Leidet an Pharyngitis, sonst gesund. Pulsfrequenz 84.

Stand des kleinen Zeigers in Mm.	Stand des grossen Zeigers in Mm.	Differenz beider = Druckwerth in Grm.	Pulsgrösse in 1/100 Mm.	Spannungszunahme in pCt. des Weges des kleinen Zeigers.	Verhältniss des Weges des grossen Zeigers zu dem des kleinen in pCt.
300	261	39	Spur	—	—
400	339	61	1	22	78
500	402	98	2	37	63
600	456	144	3	46	54
630	481	149	4	17	83
660	501	159	5	33	67
700	516	184	4	62	38
800	556	244	1	60	40
900	591 steigt allmälig auf	309	Spur		
—	618	282	0	38	62
Zurückdrehen, bis die erste Spur des Pulses wieder erscheint. Dies geschieht bei:					
861	611	250	Spur	82	18
Nunmehr Compression der Arterie mittelst des Tourniquets:					
861	691	170	0		
Es wird nun zurückgedreht: der grosse Zeiger bleibt stehen und fängt erst an sich mitzubewegen, wenn der kleine Zeiger auf 800 steht:					
800	691	109	0		
Folglich Abnahme der Spannung					

um 250 — 109 = 141 Gramm, welche dem Blutdruck entsprechen.					
792	689	103	0	75	25
740	676	64	0	75	25
700	651	49	0	37	63
Lösen des Tourniquets:					
700	616	84	Spur	—	—
Zurückdrehen. Der Puls verschwindet bei:					
251	209	42	0	9,4	90,6

Folglich: Arteriendurchmesser — 6,11 — 2,09 = 4,02 Mm.

Pulsgrösse = 0,5 Mm.

$$\text{Blutumlaufsquotient} = \frac{4{,}02}{2\ .\ 0{,}05} = 40.$$

Pulskraft = 0,05 . 159 = 7,95 Gramm-Millimeter.

Gesammtspannung = 250 — 42 = 208 Gramm.

Blutdruckspannung = 141 Gramm.

Wandspannung = 208 — 141 = 67 Gramm.

$$x = \frac{a\ \text{barom.}}{413} = \frac{141\ .\ 750}{413}$$

x = 256 Mm.

Messung nach der anderen Methode.

251	209	42	0	—	—
Anziehen des Tourniquets. Die Compression der Arterie ist noch unvollständig.					
300	266	34	0	—	—
400	354	46	Spur	12	88
500	415	85	1	39	61
600	476	124	2	39	61
Compression der Arterie.					

600	526	74	0	—	—
650	561	89	0	30	70
680	581	99	0	33	67
700	591	109	0	50	50
720	606	114	0	25	75
	rückt auf				
720	611	109	0	0	100
740	619	121	0	60	40
760	629	131	0	50	50
780	639	141	0	50	50
800	649	151	0	50	50

Offenbar ist in der Reihe 720 etc. das Stadium erreicht, in welchem das Lumen verstrichen ist und die Resistenz des Gewebes zu wirken beginnt. Die Wandspannung ist demnach 109, von der die Endspannung 42, gleich wie im ersten Versuch, abgezogen werden muss; sie beträgt demnach 109 — 42 = 67 Gramm. Dies ist genau dieselbe Zahl, welche wir bei der Messung nach der anderen Methode gefunden haben.

4. Mehls., Stud. med., 22 Jahr alt, ca. 173 Ctm. gross, Pharyngitis granulosa, sonst gesund. Pulsfrequenz 78.

Stand des kleinen Zeigers in Mm.	Stand des grossen Zeigers in Mm.	Differenz beider = Druckwerth in Grm.	Pulsgrösse in 1/100 Mm.	Spannungszunahme in pCt. des Weges des kleinen Zeigers.	Verhältniss des Weges des grossen Zeigers zu dem des kleinen in pCt.
100	90	10	0	—	—
200	174	26	Spur	16	84
300	249	51	2	25	75
400	321	79	4	28	72
500	382	118	5	39	61
550	421	129	7	22	78
600	446	154	6	50	50
700	492	208	2	54	46
800	531	269	1	61	39
900	581	319	Spur	50	50
1000	621	379	do.	60	40
1100	681	419	do.	40	60
1200	716	484	0	65	35
Zurückschrauben, bis der Puls wiederkehrt; dies geschieht bei					
1160	711	449	Spur	50	50 [1]
der grosse Zeiger rückt allmälig auf 721					
1160	721	439	Spur	33	67 [1]
Zurückdrehen bis zum Verschwinden des Pulses					
230	214	16	0	45	55

Der Versuch wird unmittelbar darauf wiederholt. Einiger Hindernisse wegen und namentlich wegen einer unvollständig ausgeführten Arterien-Compression nimmt er aussergewöhnlich lange Zeit in Anspruch, so dass der zu untersuchende am Ende Mattigkeit und eine Ohnmachtsanwandlung verspürt, derentwegen am Schluss des Versuchs die Endspannung nicht von neuem

[1]) Diese Zahlen gelten für den Vergleich dieser Reihe mit der Reihe 1100.

gemessen wurde. Dieser Umstand erklärt eine geringe Abweichung von der ersten Messung.

Ich will die ganze Versuchsreihe nicht noch einmal ausführlich mittheilen, vielmehr erst dort beginnen, wo die Blutdruckmessung ausgeführt wird.

Die letzte Spur des Pulses ist vorhanden bei:

1160	746	414	Spur.

Wir haben hier demnach gegen den ersten Versuch eine Druck-Differenz von 25 Gramm. Diese erklärt sich durch die lange Dauer des Versuchs, wodurch die Weichtheile stärker comprimirt waren als im ersten Versuch und dadurch an Elasticität einbüssten. Würde man am Ende des ganzen Versuchs noch einmal die Endspannung gemessen haben, was aus dem angegebenen Grunde leider unterlassen werden musste, so würde vielleicht diese Differenz zum Theil sich ausgeglichen haben. Wir können aber auch als wahrscheinlich annehmen, dass während der Dauer des Experiments die Spannung in Wirklichkeit sich vermindert habe

1160	746	414	Spur.
	Compression der Arterie. Der grosse Zeiger rückt auf 891		
1160	891	269	0.

Die Spannungsdifferenz, welche dem Blutdruck entspricht, beträgt demnach 414—269, resp. 891—746 = 145 Gramm.

Es wird nun zurückgedreht bei fortdauernder Compression

1160	891	269	0	—	—
1000	831	169	0	62	38
900	781	119	0	50	50
800	716	84	0	35	65
	Das Tourniquet wird gelöst				
800	681	119	7	—	—
	Darauf von neuem Compression.				

800	704	96	0	—	—
900	769	131	0	35	65
1000	813	187	0	56	44
1020	821	199	0	60	40
1050	836	214	0	50	50
1100	861	239	0	50	50
1150	881	269	0	60	40
1200	891	309	0	80	20

Die Eigenspannung der Arterie ist hier sehr präcis ausgedrückt in der Reihe 1150 etc., wobei sie sich = 269 Gramm herausstellt. Dies ist genau dieselbe Zahl, welche wir bei der Messung nach der erst angewandten Methode gefunden haben. Von dieser Zahl ist noch die Endspannung abzuziehen, die in diesem Falle nicht gemessen werden konnte. Setzen wir sie gleich der Zahl, die wir im ersten Versuch gefunden, also = 16, so ist die Arterienwandspannung = 269 — 16 = 253 Gramm. Blutdruckspannung war = 145 Gramm. Folglich Gesammtspannung = 253 + 145 resp. 414 — 16 = 398 Gramm.

Arteriendurchmesser = 7,21 — 2,14 = 5,07 Mm.

Pulsgrösse = 0,07 Mm.

Blutumlaufsquotient $= \frac{5,07}{2 . 0,07} = 36.$

Pulskraft = 0,07 . 129 = 9,03 Grm.-Mm.

Gesammtspannung am Anfang des Versuchs 439 — 16 = 423 Gramm. am Ende des Versuchs 414 minus der unbekannten Endspannung. Setzen wir diese gleichfalls = 16, dann Gesammtspannung 414 — 16 = 398 Gramm.

Wandspannung = 253 Gramm.

Blutdruckspannung = 145 Gramm.

$$x = \frac{a . bar.}{413} = \frac{145 . 756}{413}.$$

Blutdruck = 265 Mm. Hg.

5. Zgrn., Stud. math., 22 Jahr alt, ca. 160 Ctm. gross. Leidet an einer Pharyngo-Laryngitis, ist im übrigen gesund. Pulsfrequenz 72.

Stand des kleinen Zeigers in Mm.	Stand des grossen Zeigers in Mm.	Differenz beider = Druckwerth in Grm.	Pulsgrösse in $^1/_{100}$ Mm.	Spannungszunahme in pCt. des Weges des kleinen Zeigers.	Verhältniss des Weges des grossen Zeigers zu dem des kleinen in pCt.
100	86	14	Spur	—	—
200	159	41	1	27	73
300	224	76	2	35	65
400	284	116	3	40	60
500	322	178	3	62	38
	Der zu untersuchende macht eine Bewegung; hierbei rükt der grosse Zeiger auf 372.				
500	372	128	3	—	—
550	407	143	4	30	70
600	421	179	3	72	28
700	456	244	2	65	35
800	496	304	1	60	40
900	531	369	1	65	35
1000	571	429	Spur	60	40
1100	601	499	0	70	30
	rückt allmälig auf				
—	616	484	0	55	45

Zurückdrehen am Schlüssel. Der grosse Zeiger bleibt auf 616. Eine Spur des Pulses tritt erst wieder ein, wenn der kleine Zeiger auf 1074 steht.

1074	616	458	Spur.		
Das Tourniquet wird fest angezogen, hierbei rückt der grosse Zeiger vor auf					
—	683	391	0		
Die Arterie wird darauf durch das Tourniquet vollständig comprimirt	es rückt der grosse Zeiger auf				
1074	751	323	0		
Es wird nun langsam zurückgedreht, der grosse Zeiger bewegt sich sofort gleichzeitig mit dem kleinen.					
1050	743	307	0	67	33
1000	727	273	0	68	32
900	701	199	0	74	26
800	666	134	0	65	35
700	636	64	0	70	30
600	591	9	0	55	45
Das Tourniquet wird gelöst, während der Arm ruhig liegen bleibt.					
600	511	89	3	—	—
700	551	149	5	60	40
800	591	209	5	60	40
Die Arterie wird von neuem mittelst des Tourniquets comprimirt.					
800	686	114	0	—	—
900	711	189	0	75	25
1000	741	259	0	70	30
1100	771	329	0	70	30
1150	816	334	0	10	90

1200	826	374	0	80	20
Lösen des Tourniquets und Zurückschrauben.					
900	691	209	3	—	—
265	249	16	0	30	70

Hieraus ergeben sich die folgenden Werthe:

Durchmesser der Arterie = 6,16 — 2,49 = 3,67 Mm.

Grösse des Pulses 0,04: nach der Compression 0,05 Mm.

Gesammtspannung der Arterie = 458 — 16 = 442 Grm.

Blutumlaufs-Quotient $= \frac{3,67}{2.0,04} = 46$ vor der Compression: resp. $\frac{3,67}{2.0.05} = 36.7$ nach der Compression.

Blutwechsel-Coefficient $= \frac{60 . 46}{72} = 38,3$ Secunden vor der Compression, resp. $\frac{60 . 36,7}{72} = 30,6$ Secunden nach der Compression.

Kraft des Pulses = 0,04 . 143 = 5.72, resp. 0,05 . 209 = 10,45 Gramm-Millimeter.

Relative Arbeit des Pulses in einer Minute: 72 . 5,72 = 412 Gramm-Millimeter, resp. 72 . 10.45 = 752.4 Gramm-Millimeter.

Blutdruckspannung 751 — 616 = 135 Grm.

Arterienwandspannung = 323 — 16 — 307 Grm.

Berechnung des Blutdrucks:

$x = \frac{a \text{ bar.}}{103 . d.}$ Bar. — 752. a = 135. d = 3,67.

Blutdruck $= \frac{135 . 752}{103 . 3,67} = 268$ Mm. Hg.

Die Messung nach der zweiten Methode ergab in der Reihe 1150. 816. 334.

die Wandspannung = 334 — 16 = 318.

Also Differenz gegen die erste Messung nur 11 Grm.

6. Frl. Lw., 15 1/4 Jahr alt. Seit etwa 1/2—3/4 Jahren vollkommen entwickelt, ca. 150 Ctm. gross. Gesund und ziemlich kräftig.

Stand des kleinen Zeigers in Mm.	Stand des grossen Zeigers in Mm.	Differenz beider = Druckwerth in Grm.	Pulsgrösse in 1/100 Mm.	Spannungszunahme in pCt. des Weges des kleinen Zeigers.	Verhältniss des Weges des gross. Zeigers zu dem des kleinen in pCt.
100	100	0	0	—	—
200	189	11	Spur	11	89
300	275	25	1	14	86
400	348	52	3	27	73
450	382	68	5	32	68
500	408	92	5	48	52
600	450	150	2	58	42
700	490	210	1	60	40
800	551	249	Spur	39	61
900	590	310	..	61	39
1000	654	346	0	36	64
Zurückdrehen, bis die erste Pulsspur wieder erscheint.					
926	640	286	Spur	81	19
Digitalcompression der Arterie. Der grosse Zeiger rückt vor auf					
926	723	203	0		
Mit dem Zurückdrehen folgt der grosse Zeiger sofort. Bei Nachlass der Compression rückt derselbe wieder auf seinen früheren Platz zurück, und der Puls erscheint. Es wird nun zurückgedreht, bis derselbe verschwindet; dies geschieht bei					
120	118	2	0	25	75

Wir erhalten demnach folgende Werthe:

Arteriendurchmesser = 6.40 — 1.18 = 5,22 Mm.

Pulsgrösse = 0,05 Mm.

$$\text{Blutumlaufsquotient} = \frac{522}{2 \,.\, 0.05} = 52.$$

Pulskraft = 92 . 0.05 — 4,60 Grm.-Mm.

Gesammtspannung = 286 — 2 = 284 Grm.

Blutdruckspannung = 286 — 203 = 83 Grm.

Wandspannung = 284 — 83 = 201 Grm.

$$\text{Blutdruck} = \frac{83 \,.\, 760}{413} = 153 \text{ Mm. Hg.}$$

Die Messung nach der anderen Methode bestätigte das gefundene Resultat, wie die folgende Tabelle angiebt.

Die Arterie wird, während der kleine Zeiger auf 500 steht, comprimirt, der Puls verschwindet.

Stand des kleinen Zeigers in Mm.	Stand des grossen Zeigers in Mm.	Differenz beider = Druckwerth in Grm.	Spannungszunahme in pCt. des Weges des kleinen Zeigers.	Verhältniss des Weges des gross. Zeigers zu dem des kleinen in pCt.
500	498	2	—	—
600	597	3	1	99
700	688	12	9	91
800	767	33	21	79
900	840	60	27	73
1000	896	104	44	56
1120	935	185	67	33
1140	939	201	80	20
1160	940	220	95	5

Nach dieser Tabelle liegt der Werth für die Wandspannung in der Nähe von 201 Grm., abzüglich der Endspannung 2. Die Differenz gegen die erste Messung beträgt demnach nur 2 Grm.

7. Ad. Lwy., 16½ Jahre alt, ca. 152 Ctm. gross. Pubertät noch nicht vollendet.

Stand des kleinen Zeigers in Mm.	Stand des grossen Zeigers in Mm.	Differenz beider = Druckwerth in Grm.	Pulsgrösse in 1/100 Mm.	Spannungszunahme in pCt. des Weges des kleinen Zeigers.	Verhältniss des Weges des grossen Zeigers zu dem des kleinen in pCt.
190	179	11	Erste Spur	—	—
300	279	21	4	9	91
400	354	46	10	25	75
500	427	73	6	27	73
600	481	119	Spur	46	54
700	511	189	do.	70	30
800	551	249	do.	60	40
900	586	314	0	65	35
Zurückdrehen, bis die erste Spur des Pulses wieder erscheint.					
750	586	164	Spur	100	0
Compression der Arterie.					
750	651	99	0		
Beim Zurückdrehen folgt der grosse Zeiger sofort.					
Nachlass der Compression und Zurückdrehen, bis der Puls verschwindet.					
198	189	9	0	28	72

Folglich Blutdruck = 164 — 99 = 65 Grm.

Wanddruck = 99, abzüglich der Endspannung 9 = 90 Grm.

Gesammtspannung = 164, abz. der Endspan. 9 = 155 Grm.

Durchmesser der Arterie = 5,86 — 1,89 = 3,97 Mm.

Pulsgrösse = 0,10.

Blutumlaufsquotient $= \frac{3,97}{2 \cdot 0,10} =$ ca. 20.

Pulskraft = 0,10 . 46 = 4.6 Grm.-Mm.

Blutdruck $= \frac{65.\ \text{bar.}}{103\ \text{d}} = \frac{65 \cdot 750}{103 \cdot 3,97}$.

Blutdruck = 119 Mm.

Nun folgt die Controle mittelst der zweiten Methode.

198	189	9	0	—	—
400	369	31	10	11	89
Digitalcompression der Arterie.					
400	394	6	0	—	—
500	482	18	0	12	88
600	566	34	0	16	84
700	626	74	0	40	60
750	Der grosse Zeiger rückt allmälig auf				
	686	64	0	20	120
800	711	89	0	50	50
850	731	119	0	60	40

Der gesuchte Punkt liegt zwischen den beiden letzten Reihen, wie es scheint, näher an der vorletzten, als an der letzten. Der Wanddruck liegt also zwischen 89 bis 119, abzüglich der Endspannung 9. Gleichfalls abzüglich der letzteren betrug die Wandspannung bei der ersten Messung 99. Also vollkommene Uebereinstimmung, nur dass die zuerst angewandte Methode viel präciser mass. Durch Messen von 10 zu 10 oder von 5 zu 5 wäre man auch bei der zweiten Messung dem gesuchten Punkte viel näher gerückt. Da die lange Dauer der Messung den jungen Mann bereits ermüdet hatte, wurde davon Abstand genommen.

In der Reihe von 700 bis 750 begegnen wir hier demselben Umstand, der uns bereits bei den Experimenten an elastischen Röhren aufgefallen war, und den ich an der betreffenden Stelle zu erklären gesucht habe, nämlich dass nahe dem Punkte,

wo das Lumen der Röhre verstreicht, der grosse Zeiger allmälig so weit vorrückt, dass sein Weg den des kleinen Zeigers übertrifft, derart also, dass die Spannung geringer wird als zuvor.

---

8. Alb. Lhm., 14 3/4 Jahr alt, ca. 152 Ctm. gross. An Asthma leidend; gegenwärtig frei von Dyspnoë.

Auch hier ist nur nach meiner ersten Methode gemessen.

Stand des kleinen Zeigers in Mm.	Stand des grossen Zeigers in Mm.	Differenz beider = Druckwerth in Grm.	Pulsgrösse in 1/100 Mm.	Spannungszunahme in pCt. des Weges des kleinen Zeigers.	Verhältniss des Weges des grossen Zeigers zu dem des kleinen in pCt.
200	194	6	0	—	—
300	279	21	1	15	85
350	322	28	2	14	86
400	354	46	4	36	64
440	379	61	4	37,5	62,5
450	388	62	3	10	90
500	412	88	2	52	48
550	436	114	Spur	52	48
600	456	144	do.	60	40
650	501	149	do.	10	90
700	521	179	do.	60	40
750	543	207	0	56	44
Zurückdrehen, bis der Puls wieder erscheint.					
676	536	140	Spur	90	10
Weiter zurückdrehen, bis der Puls verschwindet.					
235	227	8	0	30	70

Vorwärts drehen.					
400	359	41	4	20	80
Compression des Pulses.					
400	374	26	0	—	—
450	411	39	0	26	74
500	434	66	0	54	46
550	475	75	0	18	82
560	481	79	0	40	60
570	484	86	0	70	30
580	489	91	0	50	50
590	496	94	0	30	70
600	499	101	0	70	30
610	501	109	0	80	20
620	504	116	0	70	30

Fülle der Arterie = 5,36 — 2,27 = 3,09 Mm.

Pulsgrösse $\cong$ 0,04 Mm.

Blutumlaufsquotient $= \frac{3{,}09}{2 \, . \, 0{,}04} = 38{,}6.$

Pulskraft = 0,04 . 61 = 2,44 Grm.-Mm.

Gesammtspannung = 140 — 8 = 132 Grm.

Wandspannung liegt zwischen 94 und 101, aber näher an 94, folglich = 94 — 8 = 86 Grm.

Blutdruck = 132 — 86 Grm. = 46 Grm.

$$x = \frac{46 \, . \, \text{bar.}}{103 \, \text{d.}} = \frac{46 \, . \, 760}{103 \, . \, 3{,}09} = 110 \text{ Mm.}$$

9. Khl., Stud. theol., 17½ Jahr alt, ca. 162 Ctm. gross, vollkommen entwickelt. Schwächlicher Habitus mit Disposition zur Phthisis. Bronchitis chronic. Pulsfrequenz 72.

Stand des kleinen Zeigers in Mm.	Stand des grossen Zeigers in Mm.	Differenz beider = Druckwerth in Grm.	Pulsgrösse in 1/100 Mm.	Spannungszunahme in pCt. des Weges des kleinen Zeigers.	Verhältniss des Weges des grossen Zeigers zu dem des kleinen in pCt.
100	100	0	0	—	—
200	178	22	2	22	78
300	259	41	4	19	81
400	319	81	5	40	60
500	369	131	Spur	50	50
600	401	199	„	68	32
700	416	284	0	85	15
800	436	364	0	80	20
Zurückdrehen, bis die erste Spur des Pulses wieder erscheint: dies geschicht bei:					
571	401	170	Spur	85	15
Nunmehr wird das Tourniquet angezogen und die Arterie comprimirt.					
571	484	87	0		
Zurückdrehen. Der grosse Zeiger folgt sofort bei der Rückwärtsbewegung.					
560	481	79	0	73	27
500	455	45	0	57	43
400	384	16	0	29	71
300	291	9	0	7	93
Lösen des Tourniquets.					
300	264	36	2	-	—
Zurückdrehen bis zum Verschwinden des Pulses. Dies geschicht bei:					
142	133	9	0	17	83

Wir erhalten demnach folgende Werthe:

Arteriendurchmesser = 4,01 — 1,33 = 2,68 Mm.

Pulsgrösse = 0,05 Mm.

Blutumlaufsquotient $= \frac{2,68}{2 \,.\, 0,05} = 26,8.$

Blutwechselcoefficient $= \frac{60 \,.\, 26,8}{72} = 22$ Secunden.

Pulskraft = 0,05 . 81 = 4,05.

Gesammtspannung = 170 — 9 = 161 Gramm.

Blutdruck = 484 — 401 = 83 Gramm.

Wandspannung = 87 — 9 = 78 Gramm.

$$x = \frac{83 \,.\, \text{bar.}}{103.} = \frac{83 \,.\, 756}{103.2.68}$$

Blutdruck = 227 Mm.

Die Messung nach der anderen Methode wurde gleichfalls ausgeführt und ist auf der folgenden Tabelle zusammengestellt.

142	133	9	0	—	—
300	269	31	2	14	86
400	354	46	3	15	85
450	382	68	4	44	56
460	387	73	4	50	50
Anziehen des Tourniquets und Compression der Arterie.					
460	437	23	0	—	—
500	472	28	0	12,5	87,5
600	526	74	0	46	54
700	556	144	0	70	30
750	566	184	0	80	20
Nunmehr wird, da die Grenze überschritten, zurückgedreht.					
720	561	159	0	83	17
700	557	143	0	80	20
690	556	134	0	90	10

680	555	125	0	90	10
670	553	117	0	80	20
660	548	112	0	50	50
650	544	106	0	60	40
640	541	99	0	70	30
630	536	94	0	50	50
620	531	89	0	50	50
610	526	84	0	50	50
600	521	79	0	50	50

Die unterstrichene viertletzte Reihe giebt uns am nächsten die Wandspannung an, welche demnach etwa 94 beträgt, abzüglich der Endspannung 9, also 85. Die Arterienwandspannug ist demnach bei dieser Messung um 7 grösser gefunden, als im ersten Versuch.

10. Tns., Stud. jur., 27 Jahre alt. Vor 7 Wochen Haemoptysis. Noch Lungenverdichtung vorhanden, aber sonst ohne bemerkenswerthe krankhafte Symptome.

ca. 188 Ctm. gross. Pulsfrequenz 68.

Stand des kleinen Zeigers in Mm.	Stand des grossen Zeigers in Mm.	Differenz beider = Druckwerth in Grm.	Pulsgrösse in $^1/_{100}$ Mm.	Spannungszunahme in pCt. des Weges des kleinen Zeigers.	Verhältniss des Weges des gross. Zeigers zu dem des kleinen in pCt.
147	123	24	Spur	—	—
200	167	33	„	17	83
300	209	91	1	58	42
350	244	106	5	30	70
370	256	114	5	40	60
400	269	131	3	57	43
500	307	193	1	62	38
600	337	263	Spur	70	30
700	371	329	„	66	34
800	396	404	„	75	25
Kopfbewegung.					
900	496	404	„	0	100
1000	531	469	0	65	35
1100	556	544	0	75	25
Es wird nun zurückgedreht, bis der Puls wieder erscheint. Dies geschieht bei					
695	481	214	Spur	81	19
Zuerst wird nun die Digital-Compression der Arterie versucht. Der grosse Zeiger rückt vor auf 589, geht beim Loslassen des Fingers wieder zurück auf 485.					
695	485	210	Spur	—	—

Nunmehr wird die Compression mittelst des Tourniquets ausgeführt. Der grosse Zeiger rückt vor auf 591 (der Unterschied ge-

gen die Digitalcompression ist demnach nur minimal).					
695	591	104	0	–	–
Es wird vorsichtig zurückgedreht. Der grosse Zeiger folgt sofort. Es beträgt demnach die Spannungsdifferenz, welche dem Blutdruck entspricht 210 — 104 = 106 Grm., während die Wandspannung, abzüglich der später zu findenden Endspannung = 104 Grm. ist.					
Es wird weiter zurückgedreht:					
600	531	69	0	37	73
Lösung der Pelotte.					
600	461	139	Spur	—	—
Zurückschrauben bis zum Verschwinden des Pulses.					
185	153	32	0	26	74

Wir erhalten somit folgende Resultate:

Durchmesser der Arterie = 4,85 — 1,53 = 3,32 Mm.

Grösse des Pulses = 0,05 Mm.

$$\text{Blutumlaufsquotient} = \frac{3,32}{2 \,.\, 0,05} = 33.$$

$$\text{Blutwechselcoefficient} = \frac{60 \,.\, 30}{68} = 26 \text{ Secunden.}$$

Pulskraft = 0,05 . 114 = 5,70 Grm.-Mm.

Gesammtspannung = 210 — 32 = 178 Grm.

Wandspannung = 104 — 32 = 72 Grm.

Blutdruckspannung = 210 — 104 = 106 Grm.

$$\text{Blutdruck} = \frac{a \,.\, bar.}{103 \,.\, d.} = \frac{106 \,.\, 752}{103 \,.\, 3,32} = 233 \text{ Mm. Hg.}$$

Es wird nun zur Controle auch die andere Messungsmethode ausgeführt:

185	153	32	0	—	—
300	244	56	4	21	79
350	279	71	5	30	70
Compression der Arterie mittelst des Tourniquets.					
350	314	36	0	—	—
400	354	46	0	20	80
450	388	62	0	32	68
500	425	75	0	26	74
550	459	91	0	32	68
600	491	109	0	36	64
650	526	124	0	30	70
700	549	151	0	54	46
750	571	179	0	56	44
Da, wie es scheint, der gewünschte Resistenzpunkt bereits überschritten ist, wird von neuem zurückgedreht.					
700	556	144	0	70	30
650	531	119	0	50	50
600	501	99	0	40	60
550	471	79	0	40	60
Wieder vorwärts drehen.					
600	501	99	0	40	60
620	509	111	0	60	40
640	516	124	0	65	35

Offenbar ist das Lumen der Arterie verstrichen zwischen der drittletzten und vorletzten Reihe. Der Wanddruck liegt deshalb zwischen 99 und 111, abzüglich des Enddrucks. Bei der ersten Messung fanden wir den Wanddruck 104, abzüglich der Endspannung 32. Beide Messungsresultate stimmen demnach mit einander überein. Zugleich erhellt der grosse Vorzug der zuerst befolgten Messungsmethode, indem diese einen festen,

jene einen nur annähernden Werth giebt. Dem letzteren freilich hätte man durch genauer ausgeführte Messung — etwa von 5 zu 5 fortschreitend — viel näher kommen können.

---

11. Gld., Cigarrenarbeiter, 35 Jahre alt, ca. 162 Ctm. gross. Schwächlich gebaut. Phthisis chron. mit Emphysem.

Stand des kleinen Zeigers in Mm.	Stand des grossen Zeigers in Mm.	Differenz beider = Druckwerth in Grm.	Pulsgrösse in $^1/_{100}$ Mm.	Spannungszunahme in pCt. des Weges des kleinen Zeigers.	Verhältniss des Weges des gross. Zeigers zu dem des kleinen in pCt.
200	159	41	Spur	—	—
300	239	61	3	20	80
350	271	79	5	36	64
400	304	96	2	34	66
500	347	153	1	57	43
600	386	214	Spur	61	39
700	411	289	0	75	25
Zurückdrehen, bis eine Spur des Pulses wieder auftritt; dies geschieht bei					
570	394	176	Spur	87	13
Das Tourniquet wird angezogen und die Arterie comprimirt. Es rückt der grosse Zeiger auf 451. Bei der Fortsetzung des Versuchs zeigt sich aber, dass die Compression eine unvollständige gewesen und der Puls wieder erscheint. Deshalb Aufhebung der Compression.					
600	416	184	Spur	—	—
700	441	259	0	75	25

Zurückdrehen bis zum Wiedererscheinen des Pulses.					
600	421	179	Spur	80	20
Da das Tourniquet nicht gut liegt, wird die Compression der Arterie mit dem Finger ausgeführt.					
Es rückt der grosse Zeiger vor auf 496.					
600	496	104	0		
Beim Zurückdrehen folgt der grosse Zeiger sofort.					
Es wird nunmehr die Compression aufgehoben, und der Puls erscheint wieder. Sodann wird zurückgedreht, bis der Puls wieder verschwindet; dies geschieht bei					
214	182	32	0		

Es wird nun noch die Messung nach der anderen Methode versucht.

214	182	32	0	—	—
400	304	96	2	34	66
Digital-Compression der Arterie durch einen Gehülfen. Der grosse Zeiger rückt vor.					
400	348	52	0	—	—
450	380	70	0	36	64
500	392	108	0	76	24

Wir erhalten demnach folgende Resultate:

Arteriendurchmesser = 4,21 — 1,82 = 2,39 Mm.

Pulsgrösse = 0,05 Mm.

Blutumlaufsquotient $= \frac{2,39}{2 \,.\, 0,05} =$ ca. 24.

Pulskraft = 0,05 . 79 = 3,95.

Gesammtspannung = 179 — 32 = 147 Grm.

Blutdruckspannung = 496 — 421 = 75 Grm.

Wandspannung = 147 — 75 = 72 Grm. Im zweiten Experiment berechnet sich die Wandspannung auf 108 — 32 = 76, also ziemlich nahe der ersten Messung.

$$\text{Blutdruck} = \frac{\text{a . bar.}}{103 \text{ . d}} = \frac{75 \text{ . } 750}{103 \text{ . } 2{,}39}.$$

Blutdruck = 229 Mm.

Die obige Tabelle ist in mancher anderen Beziehung noch lehrreich: Am Anfang der Messung entspricht dem Stande des kleinen Zeigers 600 der des grossen 386; später gegen Ende der Messung entspricht 600 Stand des kleinen Zeigers 421 Stand des grossen. Im Verlaufe des Experiments ist demnach der grosse Zeiger unter dem gleichen Drucke 35 Mm. weiter gerückt; um so viel wurden also während des Versuchs die Weichtheile comprimirt.

---

12. Mdf., Schriftsetzer, 31 Jahr alt, ca. 167 Ctm. gross. Leidet an Phthisis pulmon. et laryngis. Pulsfrequenz 108.

Stand des kleinen Zeigers in Mm.	Stand des grossen Zeigers in Mm.	Differenz beider = Druckwerth in Grm.	Pulsgrösse in 1/100 Mm.	Spannungszunahme in pCt. des Weges des kleinen Zeigers.	Verhältniss des Weges des grossen Zeigers zu dem des kleinen in pCt.
200	195	5	0	—	—
300	280	20	2	15	85
350	320	30	4	20	80
400	365	35	5	10	90
450	400	50	5	30	70
500	435	65	6	30	70

550	470	80	5	30	70
600	495	105	5	50	50
650	525	125	3	40	60
700	540	160	1	70	30
750	555	195	Spur	70	30
800	565	235	0	80	20
	rückt auf				
	570	230	0	70	30
Zurückdrehen, bis die erste Pulsspur wiederkehrt.					
750	570	180	Spur	100	0
Digitalcompression der Arterie; rückt auf					
750	668	82	0	—	—
Beim Zurückdrehen folgt der grosse Zeiger sofort. Aufhebung der Compression. Zurückdrehen bis zum Verschwinden des Pulses; dies geschieht bei					
277	264	13	0	15	85

Wir erhalten hiernach folgende Werthe:

Arteriendurchmesser = 5,70 — 2,64 = 3,06 Mm.

Pulsgrösse = 0,06 Mm.

Verhältniss der Zunahme der Arterienfüllung bei der Diastole

$$= \frac{2 \cdot 0{,}06}{3{,}06} = \frac{1}{25{,}5}.$$

Blutumlaufsquotient = 25,5.

Blutwechselcoefficient $= \frac{60 \cdot 25{,}5}{108} = 14$ Secunden.

Pulskraft = 0,06 . 65 = 3,90 Gramm-Millimeter.

Gesammt-Arterienspannung = 180—13 = 167 Gramm.

Blutdruckspannung = 668 — 570 = 98 Gramm.

Wandspannung = 167 — 98 = 69 Gramm.

Blutdruck $= \frac{98 \cdot 760}{103 \cdot 3{,}06} = 237$ Mm.

Auch in diesem Falle suchte ich den Blutdruck noch nach der anderen Methode zu bestimmen.

Das Zurückdrehen der Zeiger aus einer schon zu weit vorgerückten Position bei comprimirter Arterie gab sehr characteristische Zahlen.

Arterie ist comprimirt; Puls null.

Stand des kleinen Zeigers in Mm.	Stand des grossen Zeigers in Mm.	Differenz beider = Druckwerth in Grm.	Spannungszunahme in pCt. des Weges des kleinen Zeigers.	Verhältniss des Weges des grossen Zeigers zu dem des kleinen in pCt.
680	526	154	100	0
670	526	144	100	0
660	526	134	100	0
650	526	124	100	0
640	526	114	100	0
630	524	106	80	20
620	524	96	100	0
610	522	88	80	20
600	515	85	30	70
590	506	84	10	90

Hier ist der Ort scharf markirt, wo der grosse Zeiger beim Zurückdrehen des kleinen Zeigers diesem in grösserem Verhältniss zu folgen beginnt. Während von 680 bis 610 der grosse Zeiger dem kleinen entweder gar nicht oder um höchstens 20 pCt. folgte, macht er von nun an 70—90 pCt. seines Weges mit. Während also vorher die Wandspannung der Arterie so vollkommen niedergehalten war, dass die Arterie durch den auf ihr lastenden Druck comprimirt blieb. fängt dieselbe erst bei einem Drucke von 88 Gramm sich zu entfalten und die Pelotte zu heben an.

Die Wandspannung beträgt nach diesem Versuch demnach nahe an 88 Gramm, abzüglich der Endspannung. Setzen wir diese, wie im ersten Versuch, gleich 13, so erhalten wir einen

Werth von 75 Gramm für die Wandspannung. Dieser Werth differirt nur um 6 Gramm von der beim ersten Experiment gewonnenen Zahl. Vielleicht erklärt sich die Differenz aus der durch die lange Dauer des Versuchs grösser gewordenen Endspannung.

---

13. Wck., 28 Jahr alt, Grösse 166,5 Ctm.

Leidet an einer fast geheilten Pneumonia chronica superior, zur Zeit ohne Fieber und ausser etwas Husten ohne wesentliche Beschwerden. Pulsfrequenz 72.

Stand des kleinen Zeigers in Mm.	Stand des grossen Zeigers in Mm.	Differenz beider = Druckwerth in Grm.	Pulsgrösse in 1/100 Mm.	Spannungszunahme in pCt. des Weges des kleinen Zeigers.	Verhältniss des Weges des grossen Zeigers zu dem des kleinen in pCt.
100	100	0	0	—	—
200	190	10	1	10	90
400	355	45	7	17,5	82,5
450	395	55	7	20	80
500	430	70	5	30	70
700	540	160	Spur	45	55
1000	680	320	0	53	47
Zurückdrehen, bis die erste Spur des Pulses wiederkehrt.					
900	670	230	Spur	90	10
Digitalcompression der Arterie					
900	785	115	0		
Beim Zurückdrehen folgt der grosse Zeiger sofort.					
Nachlass der Compression.					
Zurückdrehen, bis der wieder erschienene Puls verschwindet.					
165	164	1	0	31	69

Wir erhalten hier somit folgendes Resultat:

Arteriendurchmesser = 6,70 — 1,64 = 5,06 Mm.

Pulsgrösse = 0,07 Mm.

Blutumlaufsquotient $= \frac{5,06}{2 \cdot 0,07} = 36.$

Blutwechselcoefficient $= \frac{60 \cdot 36}{72} =$ 30 Secunden.

Pulskraft = 0,07 . 55 = 3,85 Gramm-Millimeter.

Gesammtarterienspannung = 230 — 1 = 229 Gramm.

Blutdruckspannung = 785 — 670 = 115 Gramm.

Wandspannung = 229 — 115 = 114 Gramm.

Blutdruck $= \frac{115 \cdot 760}{413} =$ 221 Mm. Hg.

Die andere Messungsmethode wurde auch hier in gleicher Weise wie im vorigen Fall vorgenommen und gab ein ähnliches Resultat. Ich führe hier nur die charakteristischen Zahlen an:

Compression der Arterie; Puls gleich null.

Stand des kleinen Zeigers in Mm.	Stand des grossen Zeigers in Mm.	Differenz beider = Druckwerth in Grm.	Spannungszunahme in pCt. des Weges des kleinen Zeigers.	Verhältniss des Weges des grossen Zeigers zu dem des kleinen in pCt.
800	670	130	—	—
790	669	121	90	10
780	668	112	90	10
770	665	105	70	30
760	661	99	60	40
750	657	93	60	40

Die Wandspannung ergiebt in diesem Versuche einen Werth um 112 herum, wovon die Endspannung 1 abzuziehen, also etwa 111. Die Differenz zwischen dieser und der vorigen Messung beträgt demnach nur 3 Gramm.

14. Kls., 42 Jahr alt, Grösse ca. 162 Ctm.
Vorgeschrittene Phthisis pulmonum, beginnende Phthisis laryngis.
Sehr mager. Pulsfrequenz 96.

Stand des kleinen Zeigers in Mm.	Stand des grossen Zeigers in Mm.	Differenz beider = Druckwerth in Mm.	Pulsgrösse in $^1/_{100}$ Mm.	Spannungszunahme in pCt. des Weges des kleinen Zeigers.	Verhältniss des Weges des grossen Zeigers zu dem des kleinen in pCt.
100	100	0	0	—	—
200	195	5	Spur	5	95
300	280	20	5	15	85
350	317	33	6	26	74
360	325	35	6	20	80
400	357	43	3	20	80
500	420	80	Spur	37	63
600	475	125	0	45	55
650	495	155	0	60	40
Zurückdrehen; der Puls erscheint wieder bei:					
580	485	95	Spur	86	14
Compression der Arterie vermittelst Tourniquets. Der grosse Zeiger rückt vor auf					
580	573	7	0		
Beim Aufheben der Compression geht der grosse Zeiger wieder auf seinen früheren Stand zurück und der Puls erscheint. Beim Zurückdrehen verschwindet der Puls bei:					
119	119	0	0	20	80

Hieraus ergiebt sich:

Arteriendurchmesser = 4,85 — 1,19 = 3,66 Mm.

Pulsgrösse = 0,06 Mm.

$$\text{Blutumlaufsquotient} = \frac{3{,}66}{2 \cdot 0{,}06} = 30{,}5.$$

$$\text{Blutwechselcoefficient} = \frac{60 \cdot 30{,}5}{96} = 19 \text{ Secunden.}$$

Pulskraft = 35 . 0,06 = 2,10.

Gesammte Arterienspannung = 95 Gramm.

Blutdruckspannung = 95 — 7 = 88 Gramm.

Wandspannung = 7 Gramm.

$$\text{Blutdruck} = \frac{88 \cdot 760}{103 \cdot 3{,}66} = \text{ca. } 177 \text{ Mm. Hg.}$$

15 und 16. Frau Sprlg., 41 Jahre alt, ca. 163 Ctm. gross. Leidet an vorgeschrittener Phthisis pulmonum et laryngis.

Stand des kleinen Zeigers in Mm.	Stand des grossen Zeigers in Mm.	Differenz beider = Druckwerth in Grm.	Pulsgrösse in 1/100 Mm.	Spannungszunahme in pCt. des Weges des kleinen Zeigers.	Verhältniss des Weges des gross. Zeigers zu dem des kleinen in pCt.
200	195	5	0	—	—
300	272	28	2	23	77
350	310	40	3	24	76
400	350	50	5	20	80
450	380	70	5	40	60
500	405	95	4	50	50
550	442	108	1	26	74
600	460	140	Spur	64	36
650	480	170	0	60	40
	rückt vor auf				
—	500	150	0	20	80
Zurückdrehen; die erste Spur des Pulses erscheint wieder bei					
591	480	111	Spur	68	32

Digitalcompression der Arterie. Der grosse Zeiger rückt vor auf	—	535	—	—		
Beim Zurückdrehen verharrt der grosse Zeiger in seiner Stellung, bis der kleine angelangt ist bei 581	581	535	46	0		
Die Compression wird unterbrochen, der grosse Zeiger weicht zurück und der Puls erscheint. Es wird nun zurückgedreht, bis die letzte Spur des Pulses verschwindet; dies geschieht bei	208	204	4	0	28	72

Es ergeben sich hieraus folgende Masse:

Arteriendurchmesser: 4,80 — 2,04 = 2,76 Mm.

Pulsgrösse: 0,05 Mm.

Pulskraft: 0,05 . 70 = 3,5 Grm.-Mm.

Blutumlaufsquotient: $\frac{2,76}{2 \cdot 0,05} = 27,6.$

Gesammte Arterienspannung: 111 — 4 = 107 Grm.

Blutdruckspannung: 111 — 46 = 65 Grm.

Wandspannung: 46 — 4 = 42 Grm.

Blutdruck: $\frac{65 \cdot 760}{103 \cdot 2,76} = 174$ Mm. Hg.

Die Patientin ist nach dieser Messung ziemlich ermüdet und abgespannt. Um den etwaigen Einfluss, welchen dieser Zustand der Abspannung auf die Circulation ausübt, zu studiren, wiederholte ich die Messung etwa 10 Minuten später noch einmal, ohne vorher den Arm aus seiner bisherigen Lage befreit zu haben.

Ich erhalte nunmehr die folgenden Resultate:

100	100	0	0	—	—
300	278	22	3	11	89
400	358	42	5	20	80
450	400	50	6	16	84
500	430	70	5	40	60
550	465	85	4	30	70
600	488	112	1	54	46
700	515	185	Spur	73	27
750	535	215	0	60	40
Zurückdrehen, bis die erste Spur des Pulses wieder erscheint.					
725	531	194	Spur	84	16
Compression der Arterie.					
725	611	114	0		
Beim Zurückdrehen geht der grosse Zeiger sofort mit zurück. Der beim Nachlass der Compression wieder aufgetretene Puls verschwindet bei:					
170	168	2	0	34	66

Aus dieser zweiten Messung ergeben sich somit folgende Werthe:

Arteriendurchmesser: 5,31 — 1,68 = 3,63 Mm.

Pulsgrösse: 0,06 Mm.

Pulskraft: 0,06 . 50 = 3,00 Grm.-Millimeter.

Blutumlaufsquotient: $\frac{3,63}{2 \cdot 0,06} = 30$

Gesammte Arterienspannung: 194 — 2 = 192 Grm.

Blutdruckspannung: 194 — 114 = 80 Grm.

Wandspannung: 192 — 80 = 112 Grm.

Blutdruck $= \frac{80 \cdot 760}{103 \cdot 3,63} = 162$ Mm. Hg.

Die Resultate beider Messungen sind in zwei Punkten

wesentlich von einander abweichend und zwar in betreff der Arterienfüllung und der Arterienwandspannung.

Der Arteriendurchmesser betrug bei der ersten Messung nur 2,76 Mm., bei der zweiten war er auf 3,63 Mm. angewachsen. Die Arterien waren also beim zweiten Versuch viel stärker gefüllt als im ersten, sicherlich eben so auch die Capillaren und Venen des grossen Kreislaufs. Dem entsprechend hat sich auch der Blutumlaufsquotient von 27,6 auf 30 vergrössert, und zwar obgleich die Blutwelle etwas höher geworden war (0,06 anstatt 0,05). Der vergrösserte Blutumlaufsquotient weist auf eine Verlangsamung der relativen Blutumlaufsgeschwindigkeit hin, da eine erhebliche Vermehrung der Pulsfrequenz nicht constatirt wurde. Dem vergrösserten Umfang der Arterien bei gleichgebliebener Blutmenge entspricht das Sinken des Blutdrucks. Der letztere betrug im ersten Versuch 174 Mm. Hg., im zweiten nur 162 Mm. Hg.

Trotz des verminderten Blutdrucks hat dennoch die Gesammtspannung der Arterie wesentlich zugenommen, von 107 auf 192 Grm. Die Differenz ist indess nur scheinbar so gross, weil sie sich auf verschiedene Arteriendurchmesser (2,76 und 3,63) bezieht. Rechnet man die Spannungswerthe in Barometerdruck um, bezogen auf eine Arterienbreite von 4 Mm., so erhält man bei der ersten Messung 286 Mm. Hg., bei der zweiten 390 Mm. Hg., also immer noch eine erhebliche Vermehrung, aber doch bei weitem nicht in dem Masse, wie es nach den gefundenen Spannungszahlen scheinen konnte. Die erhöhte Wandspannung der Arterie trotz des verminderten Blutdrucks lässt sich nur von der starken Füllung der Arterie und den vermehrten peripherischen Widerständen durch stärkere Füllung der Capillaren und Venen ableiten.

Der Zustand der Ermüdung und Abspannung führte also in unserem Falle zu einer stärkeren Füllung des grossen Kreislaufs mit Blut auf Kosten des kleinen, zu einer

Verlangsamung des Kreislaufs und endlich zu einer Verminderung des Blutdrucks.

Wie weit dies auch in anderen Fällen zutreffen wird, müssen weitere Erfahrungen lehren.

Die Patientin, an welcher dieser Versuch gemacht wurde, erschien wegen ihres Schwächezustandes ganz besonders geeignet, ein recht prägnantes Bild darzubieten.

Ich möchte hier noch bemerken, dass sehr häufig Personen während der Messung, zumal wenn dieselbe aussergewöhnlich lange dauerte, schläfrig wurden, woran auch der Umstand, dass sie das Gesicht immer nach derselben Richtung hin gewandt haben mussten, die Schuld trägt. Es ist nicht unwahrscheinlich, dass mit dem Schläfrigwerden auch gewisse Veränderungen in der Blutcirculation Hand in Hand gehen, welche spätere Beobachtungen aufzuklären haben werden.

V. Ergebnisse der Blutdruckmessungen.

Zunächst stelle ich die Ergebnisse der bisher von mir ausgeführten Blutdruckmessungen zur besseren Uebersicht in einer Tabelle zusammen.

Name und Alter.	Bemerkungen.	Arterien-durchmesser. Mm.	Pulsgrösse. Mm.	Gesammte Arterien-Spannung. Grm.	Arterienwand-spannung. Grm.	Blutdruck. Mm.-Hg.
1. Dr. Blth., ca. 30 J.	ca. 157 Ctm. gross. Pharyngo - Laryngitis, sonst gesund.	4.44	0.10	336	227	200
2. Mchl.. Stud. med., 21 J.	ca. 173 Ctm. gross. gesund.	5.07	0.07	423	253	265

Name und Alter.	Bemerkungen.	Arterien-durchmesser Mm.	Pulsgrösse. Mm.	Gesammte Arterien-Spannung. Grm.	Arterienwand-spannung. Grm.	Blutdruck. Mm.-Hg.
3. Zgmn.. Stud. math.. 22 J.	ca. 160 Ctm. gross. Pharyngo - Laryngitis. sonst gesund.	3.67	0.05	442	307	268
4. Fr. Dmg.. 38 J.	ca. 170 Ctm. gross. Pharyngitis. sonst gesund.	4.02	0.05	208	67	256
5. Fr. Hff., 23 J.	ca. 170 Ctm. gross. gesund.	3,25	0.04 —0.05	245	133	259
6. Frl. Lw.. 15¼ J.	ca. 150 Ctm. gross. vollkommen entwickelt.	5.22	0.05	284	201	153
7. Lw.. 16½ J.. Gymnasiast.	ca. 152 Ctm. gross. Pubertät noch nicht vollendet.	3.97	0.10	155	90	119
8. Lmn.. 14¾ J.	ca. 152 Ctm. gross. noch nicht entwickelt, leidet an Asthma, zur Zeit ohne Dyspnoe.	3.09	0.04	132	86	110
9. Kl.. Stud. theol.. 17½ J.	ca. 162 Ctm. gross. vollkommne Pubertät. schwächlicher Habitus mit Disposition zu Phthisis. Bronchitis chronica.	2.68	0.05	161	78	226
10. Tns., Stud. jur.. 27. J.	ca. 188 Ctm. gross. vor 7 Wochen Haemoptysis. Noch Lungenverdichtung vorhanden. aber ohne wesentliche Krankheitssymptome.	3.32	0.05	178	72	233
11. Gldn., Cigarrenarbeiter. 35 J.	ca. 162 Ctm. gross. Phthisis pulm. chron. mit Emphysem.	2.39	0.05	147	72	229
12. Mdf.. 31 J.	ca. 167 Ctm. gross. Phthisis pulm et laryng.	3,06	0.06	167	69	237
13. Wck., 28 J.	166,5 Ctm. gross. Pneumonia chron. superior, fast geheilt.	5,06	0.07	229	114	221

Name und Alter.	Bemerkungen.	Arterien-durchmesser. Mm.	Pulsgrösse. Mm.	Gesammte Arterien-Spannung. Grm.	Arterienwand-spannung. Grm.	Blutdruck. Mm.-Hg.
14. Kls., 42 J.	ca. 162 Ctm. gross. vorgeschrittene Phthis. pulm., beginnende Phthisis laryng.	3,66	0,06	95	7	177
15. Fr. Splg., 41 J.	ca. 163 Ctm. gross, vorgeschrittene Phthis. pulm. et laryng.	2,76	0,05	107	42	174
16. Dieselbe.	im Zustand der Ermüdung und Abspannung.	3,63	0,06	192	112	162

Die Zahl der Beobachtungen ist noch nicht gross genug, als dass ich bereits allgemein gültige Schlüsse aus denselben abzuleiten mir erlauben dürfte. Ich halte mich deshalb rein an die von mir gefundenen concreten Thatsachen, es der Zukunft überlassend, in wie weit sie eine Generalisirung gestatten.

1. Der Blutdruck bei gesunden Männern und Frauen.

Der bei fünf gesunden Männern und Frauen von mir gemessene Blutdruck schwankte zwischen 200 und 268 Mm. Hg. Der mittlere Werth beträgt 249 Mm., dem sich 4 der Beobachtungen ziemlich annähern, und zwar ihn übersteigend. Nur in einem Falle war der Blutdruck ein weit niedrigerer, nämlich 200 Mm. Er betraf einen ziemlich kleinen Mann, den kleinsten unter den gemessenen (ca. 157 Ctm. Grösse), welcher an Pharyngo-Laryngitis litt.

Ein wesentlicher Unterschied zwischen Männern und Frauen trat nicht hervor. Nur ist zu bemerken, dass die beiden Frauen, deren Blutdruck ich mass, sich durch Körpergrösse auszeichneten (ca. 170 Ctm.).

Es ist wohl unzweifelhaft, dass die Körpergrösse für den

Blutdruck wesentlich in Betracht kommt. Damit bei einem grossen Körper die Blutsäule in den Venen, dem Druck der Schwere entgegen, bis zum Herzen gehoben werden könne, dazu gehört ein entsprechend höherer Druck, als bei einem kleinen Körper. Wenn auch zur Beförderung des Blutabflusses aus den Venen die vis a tergo des Herzens noch durch die Aspirationskraft des Thorax wesentlich unterstützt wird, so hat doch die erstere sicherlich auch in dem Verhältniss mehr zu leisten, als die Widerstände für die Circulation sich vermehren, und einer der hauptsächlichsten Widerstände ist die Schwerkraft, welche mit der Grösse des Körpers, bei aufrechter Stellung, wächst.

Ich bin nun weit entfernt von einer teleologischen Auffassung des Zusammenhanges zwischen Körpergrösse und Blutdruck; vielmehr meine ich: ein grosser Körper bedarf, um gesund zu functioniren, ceteris paribus, eines höheren Blutdruckes als ein kleiner Körper; ist er also in Wirklichkeit gesund, so kann man auch voraussetzen, dass er einen höheren Blutdruck besitzt.

Von den erwähnten 5 Fällen ist in der That bei 4 (No. 1, 2, 4, 5) das Verhältniss zutreffend: der kleinste (157 Ctm.) hat einen Blutdruck von 200 Mm. Hg., 2 mit 170 Ctm. Körpergrösse haben einen Blutdruck von 256 und 259 Mm. Hg., der grösste, mit 173 Ctm. Körperhöhe, hat 265 Mm. Hg.

Dagegen zeigte der 5. der Fälle (No. 3) bei nur 160 Ctm. Körpergrösse den höchsten Blutdruck, 268 Mm. Hg. — ein Beweis, dass ausser der Körpergrösse noch andere Verhältnisse, ganz abgesehen von Gesundheit und Krankheit, eine wichtige Rolle spielen müssen.

Die Masse für das Körpergewicht, welches sicherlich hierbei mit in Frage kommt, standen mir leider nicht zu Gebote.

Vergleichen wir die gefundenen Zahlen mit den bisher bekannten Blutdruckmessungen bei Thieren, so möchte ich zunächst die Befunde von Hales[1]), weil ich sie in neueren

---

[1]) Stephan Hales: Statick des Geblütes etc. Aus dem Englischen übersetzt. Halle 1748.

Lehrbüchern nicht genügend verwerthet sehe, speciell anführen [1]).

Blutdruck in der Art. crural. einer Stute 8′ 3″ = circa 260 Ctm. Blutdruck = 203 Mm. Hg.
Blutdruck in der Art. crural. eines Wallach 9′ 8″ = ca. 305 Ctm. Blutdruck = 237 Mm. Hg.
Blutdruck in der Art. temporal. einer Stute 9′ 6″ = ca. 300 Ctm. Blutdruck = 233 Mm. Hg.
Blutdruck in der Art. temporal. eines Hammels 6′ 5″ = ca. 202,5 Ctm. Blutdruck = 157 Mm. Hg.
Blutdruck in der Art. crural. eines Dammhirschs 4′ 2″ = ca. 131,5 Ctm. Blutdruck = 102 Mm. Hg.

Der Blutdruck bei Hunden, theils in der Art. cruralis, theils in der carotis und temporalis gemessen, schwankte in sehr erheblichen Grenzen. Der grösste Werth betrug 6′ 8″ = ca. 210 Ctm. Blutdruck = 163 Mm. Hg., der kleinste 1′ 6″ = ca. 47 Ctm. Blutdruck = 37 Mm. Hg.

Bekannt sind die von Poiseuille, Volkmann, Ludwig, Magendie u. a. gewonnenen Werthe, von denen ich nur einige anführe [2]):

Blutdruck in der Carotis des Pferdes 161 Mm. Hg. (Poiseuille); 122—214 Mm. Hg. (Volkmann),
Blutdruck in der Carotis des Hundes 151 Mm. Hg. (Poiseuille); 152 Mm. Hg. (Magendie); 104

[1]) Ich habe bei der Umrechnung 1″ = 26.3 Mm. gesetzt, wobei ich unser früheres Zollmass zu Grunde legte. Mir ist nicht bekannt, wie weit das englische Mass zur Zeit Hales' von diesem Mass abweicht. Dass es nicht mit ihm übereinstimmt, ist sicher, und entsprechend der Abweichung müssten demnach die obigen Zahlen noch corrigirt werden. Da die von Hales gefundenen Werthe den Druck der Blutsäule repräsentiren und das specifische Gewicht des Blutes = 1,055, das des Hg. = 13,59 ist, so ist der Quecksilberdruck entsprechend diesen Zahlen berechnet worden.

[2]) Nach den Lehrbüchern der Physiologie von Funke. 3. Auflage. Bd. I. p. 122. und von Landois p. 171.

bis 172 Mm. Hg. (Volkmann); 130—190 Mm. Hg. (Ludwig und Spengler),

Blutdruck in der Carotis des Kalbes 133—177 Mm. Hg. (Volkmann),

Blutdruck in der Carotis des Schafes 165 Mm. Hg. (Volkmann),

Blutdruck in der Carotis einer Ziege 118—135 Mm. Hg. (Volkmann),

Blutdruck in der Carotis eines Kaninchens 90 Mm. Hg. (Volkmann),

Blutdruck in der Carotis eines Huhns 88—171 Mm. Hg. (Volkmann).

Am Menschen ist der Blutdruck einmal von Faivre bei Gelegenheit einer Operation in der Brachialis gemessen worden: er betrug 110—120 Mm. Ausserdem führt Vierordt[1]) — ohne Quellenangabe — an, dass auch in Lyon an einem am Unterschenkel amputirten der Blutdruck gemessen wurde, welcher 155 Mm. Hg. entsprach. Vierordt und wohl die meisten anderen Physiologen nehmen an, dass diese Werthe für den Menschen, besonders für den gesunden Menschen zu klein sind, und dass der zu geringe Druck sich daraus erklärt, dass er ein herabgekommenes Individuum während der Operation betraf.

Vierordt schätzt den Blutdruck beim Menschen auf circa 200 Mm. Hg Der Druck in der menschlichen Aorta wird von den meisten Physiologen auf ca. 250 Mm. Hg. geschätzt.

Ein Blick auf die obige Tabelle (p. 235), welche die Resultate meiner Blutdruckmessungen am Menschen enthält, zumal wenn wir vor der Hand die Kinder von den Erwachsenen, die Kranken von den Gesunden nicht absondern — und wir haben um so weniger Ursache, die Kranken aus der Vergleichung auszuschliessen, als auch die operirten Thiere, an deren geöffneter

---

[1]) Vierordt: Physiologie des Kindesalters in Gerhardt's Handbuch der Kinderkrankheiten. Bd. I. p. 109.

Arterie der Blutdruck gemessen wurde, viel eher den kranken als den gesunden beizuzählen sind —, zeigt eine völlige Harmonie mit den an Thieren manometrisch gewonnenen Druckwerthen. Zugleich wird dadurch demonstrirt, dass die bisherigen Schätzungen des menschlichen Blutdrucks der Wahrheit ziemlich nahe gekommen sind.

Bemerken muss ich freilich, dass sich diese Schätzungen nicht auf die Radialis, sondern auf die grösseren Arterienstämme beziehen. Aber es ist bisher noch nicht festgestellt, ob der Blutdruckverlust von der Subclavia bis zur Radialis irgendwie erheblich ist; möglich sogar, dass der durch die Reibung gesetzte Verlust durch den Zuwachs an Schwerkraft in dem nach unten gerichteten Arm aufgewogen wird. Mit Fleiss will ich hier vermeiden, näher auf das Verhältniss des Blutdrucks in den verschiedenen Körperarterien je nach ihrer Entfernung vom Herzen einzugehen, da mich dies abseits von meinem Gegenstand auf theoretische Deductionen führen würde. Vielmehr will ich mich bei den concreten Thatsachen halten, die ich gefunden.

Wie die Blutdruckwerthe, die ich am Menschen durch die Pulsuhr erhalten, durchaus mit den bekannten manometrischen Ergebnissen an Thieren correspondiren, so stimmen sie auch im grossen und ganzen mit den bereits oben mitgetheilten directen Messungen an operirten Menschen überein. Zwar ergab die Messung in dem ersten dieser Fälle nur 110—120 Mm. in der Brachialis, in dem zweiten 155 Mm. in der Cruralis. Aber diese beiden Zahlen dürfen nicht mit den Druckwerthen, welche ich an gesunden Menschen, sondern weit eher mit denjenigen verglichen werden, welche ich bei Kranken (vergl. No. 9—16 der Tabelle), bei denen der Druck zwischen 162—237 Mm. Hg. schwankte, erhielt; denn die beiden operirten waren in doppelter Weise krank, einmal durch diejenige Affection, welche die Operation nothwendig machte, sodann durch die Operation selbst und den durch dieselbe bedingten Blutverlust. Wie der Blutverlust den Blutdruck allmälig mehr und mehr erniedrigt, hat be-

reits Hales (a. a. O.) in vorzüglicher Weise durch Experimente an Thieren demonstrirt.

Dass gesunde Menschen demnach viel höhere Druckwerthe liefern müssen, als jene beiden operirten, war demnach schon a priori kaum zweifelhaft, und in diesem Sinne haben sich auch die Physiologen ausgesprochen. Meine Messungsresultate bestätigen diese Anschauung.

2. Der Blutdruck vor vollendeter Pubertät.

In der Tabelle befinden sich 3 Messungen (No. 6, 7, 8) an zwei Knaben und einem jungen Mädchen. Das letztere, im Alter von 15¹/₄ Jahren, ist erst seit kurzem vollkommen entwickelt, der eine Knabe von 14³/₄ Jahren trägt noch einen vollkommen kindlichen Typus, der andere Knabe, 16¹/₂ Jahr alt, befindet sich bereits in der Pubertät, hat dieselbe aber, seinem ganzen Habitus nach zu urtheilen, noch nicht vollendet.

Der 14³/₄jährige Knabe hat den niedrigsten Blutdruck, und zwar nur 110 Mm. Hg. Zu bemerken ist noch, dass derselbe zeitweise an Asthma litt, aber zur Zeit der Messung völlig frei von Dyspnoe war. In wie weit dieser Umstand einen Einfluss auf das Messungsresultat ausübte, darüber ein Urtheil zu fällen, dazu fehlt es zur Zeit noch an irgend welchen Anhaltspunkten.

Nicht viel höher war der Blutdruck bei dem 16¹/₂jährigen Knaben, der zwar schon in der Pubertät begriffen, dieselbe aber noch nicht vollendet hatte; hier erhielten wir einen Blutdruck von 119 Mm. Hg.

Einen Gegensatz hierzu bildet das junge Mädchen, die Schwester des letzteren Knaben, welche, obgleich 1¹/₄ Jahr jünger und auch etwas kleiner als dieser, doch einen wesentlich höheren Blutdruck zeigte, nämlich 153 Mm. Hg. Diesen erheblich höheren Blutdruck erkläre ich mir als hervorgerufen durch die bei dem Mädchen viel früher eingetretene und viel schneller vollendete Pubertät.

Dass mit der vollkommen entwickelten Mannbarkeit der Blutdruck sehr erheblich wachsen muss, dies scheint mir aus dem Contrast, welchen der Blutdruckwerth bei den beiden Knaben von $14^3/_4$ und $16^1/_2$ Jahren im Gegensatz zu den Erwachsenen darbietet, hervorzugehen. Ein $17^1/_2$jähriger Student, der dazu noch schwächlich und zur Phthise disponirt war (No. 9), zeigt bereits einen Blutdruck von 226 Mm. Hg., 2 andere kräftige Studirende im Alter von 22 Jahren boten sogar die höchsten von mir beobachteten Druckwerthe, 265 und 267 Mm. dar. Innerhalb der wenigen Jahre der Pubertät wächst demnach der Blutdruck ungefähr um das doppelte an. Allein aus der zunehmenden Grösse des Individuums und dem anwachsenden Körpergewicht lässt sich dieser Contrast nicht erklären; vielmehr muss in der Pubertät selbst ein Moment liegen, welches diesen Umschwung bewirkt. Sehr wesentlich hierbei ist sicherlich das erhebliche Anwachsen des Herzvolumens während der Pubertät (Beneke); aber gewiss kommen auch noch andere Factoren hierbei in Betracht, welche zu erforschen der Zukunft vorbehalten bleiben muss.

Auch bei Thieren hat sich, wie namentlich Vierordt (a. a. O.) angiebt, das gleiche Verhalten herausgestellt: ausgewachsene Thiere zeigen einen weit höheren Blutdruck, als junge, noch nicht geschlechtsreife Thiere derselben Species (vergl. p. 239 und 240).

3. Der Blutdruck bei Kranken.

Die Tabelle (p. 235) enthält 8 Blutdruckmessungen an Kranken. Der eine derselben, $17^1/_2$ Jahr alt (No. 9) leidet an Bronchitis chronica, hat aber einen ausgesprochenen phthisischen Habitus und ist hereditär zur Phthisis disponirt. Ein zweiter hatte 7 Wochen zuvor eine ziemlich erhebliche Haemoptysis; es sind zur Zeit noch Verdichtungen an den oberen Lungenlappen nachweisbar, sonst bestehen keine anderen objectiven oder subjectiven Krankheitssymptome mehr. Ein dritter endlich litt

gleichfalls an einer chronischen Pneumonie der Oberlappen, die aber in der Heilung begriffen ist. Die übrigen 5 Beobachtungen betreffen ausgebildete Phthisen.

In allen diesen Fällen ist der Blutdruck erheblich kleiner als das Durchschnittsmass bei gesunden. Am niedrigsten war der Blutdruck bei einer Frau mit vorgeschrittener Phthisis pulmonum et laryngis (No. 15 und 16): er betrug bei dieser 174 Mm. Hg. und bei einer späteren Messung, bei welcher die Kranke sich im Zustand der Ermüdung und Abspannung befand, nur 162 Mm. Hg. Ein anderer Mann mit vorgeschrittener Phthisis pulm. et laryngis hatte 177 Mm. Hg. Blutdruck; zwei andere Phthisiker hatten 229 und 237 Mm. Hg. Der Mann mit der chronischen Pneumonie hatte 221 Mm. Hg., der zweite mit der vorhergegangenen Haemoptysis 233 Mm. Hg. Diese letztere Zahl, an sich nicht klein, erscheint aber relativ niedrig, wenn man die Körpergrösse dieses Patienten in Anrechnung bringt: er war der grösste von allen denjenigen, die ich gemessen, nämlich ca. 188 Ctm. gross. Endlich der junge Mann mit dem phthisischen Habitus hatte 226 Mm. Hg. Blutdruck.

Der Durchschnittswerth der 8 Messungen an Lungenkranken berechnet sich auf 207 Mm. Hg. Er ist also erheblich niedriger als der Durchschnittswerth bei Gesunden.

Die Feststellung dieses thatsächlichen mag vorläufig genügen.

4. Vergleichung des Blutdrucks mit der Arterienspannung.

Von grosser Bedeutung ist es, die Werthe des Blutdrucks mit denen der Arterienspannung zu vergleichen. Es lassen sich hieraus sehr wichtige Gesichtspunkte ableiten:

1) Der Blutdruck ist der Arterienspannung nicht proportional. Ein Blick auf die Tabelle (p. 235) genügt, um diesen Satz klar zu stellen. Schon No. 1 bis 6 bieten hierfür

treffende Beispiele. Bei No. 4 ist die Arterienspannung weniger als halb so gross wie bei No. 2 und 3, der Blutdruck dagegen verhält sich bei ihnen wie 256 zu 265 und 268. No. 1 hat einen Blutdruck von nur 200 Mm. Hg., der viel kleiner ist als bei No. 4 und 5; dennoch ist die Spannung in No. 1 (336 Gramm) grösser als in No. 4 (208 Gramm) und No. 8 (245 Gramm). In No. 6 ist der Blutdruck (153 Mm. Hg.) bei weitem niedriger als in No. 4 und 5 (256 und 259 Mm. Hg.), dagegen die Arterienspannung grösser (284 Gramm gegen 208 und 245 Gramm).

Auch bei einer und derselben Person ist die Arterienspannung nicht dem Blutdruck proportional, sondern es können selbst Verhältnisse eintreten, in welchen der Blutdruck abnimmt, während die Arterienspannung zunimmt, wie Fall 15 und 16 demonstrirt.

Die Erklärung für diese Thatsachen ergiebt sich aus den früheren Erörterungen von selbst. Der Blutdruck bedeutet nur ein Glied in der Kette derjenigen Momente, von welchen die Arterienspannung abhängt. Diese anderen Momente, namentlich die Dicke der Arterienwandung, die Gefässfüllung, die peripheren Widerstände, können so wesentlich überwiegen, dass sie ein sehr hohes Spannungsmass bewirken, selbst wenn der Blutdruck nicht erhöht oder sogar erniedrigt ist; andrerseits können sie so gering sein, dass trotz normalen Blutdrucks eine geringe Gesammtspannung resultirt. Ceteris paribus muss freilich mit dem Anwachsen des Blutdrucks auch die Spannung wachsen; aber es besteht hier eben kein ceteris paribus, sondern es sind erhebliche Differenzen in den massgebenden Factoren vorhanden, welche das Endresultat zusammensetzen.

2) Der Blutdruck ist in weit geringeren Grenzen schwankend als die Arterienspannung.

Der Blutdruck bei den 5 gesunden Männern und Frauen schwankte zwischen 200 und 268 Mm.; nach Procenten berechnet, zwischen 100 und 134. Die Spannung dagegen

schwankte bei denselben Personen zwischen 208 und 442 Gramm, d. i. zwischen 100 und 212 pCt.

Noch viel grösser wird der Contrast, wenn wir die kranken erwachsenen Personen mit hinzurechnen. Wir haben dann das Resultat von 13 Messungen. Bei denselben bewegt sich die Arterienspannung zwischen 95 und 442 Gramm, d. i. zwischen 100 und 465 pCt.; dagegen der Blutdruck nur zwischen 162 und 268 Mm., also zwischen 100 und 165 pCt.

Bringen wir die Blutdruckspannung von der gesammten Arterienspannung in Abzug, und vergleichen wir die so erhaltene Arterienwandspannung (vorletze Columne der Tabelle auf p. 235) mit dem Blutdruck, so springen die bedeutenden Schwankungen der ersteren gegenüber der letzteren noch erheblich mehr in die Augen. Die Arterienwandspannung bei den fünf erwachsenen gesunden Personen schwankte zwischen 67 und 307, also zwischen 100 und 458 pCt. Rechnet man die Kranken hinzu, so bewegt sich die Arterienwandspannung in den ausserordentlich weiten Grenzen, von 7 und 307, d. i. zwischen 100 und 4385 pCt. Der Gegensatz zu den relativ geringen Schwankungen des Blutdrucks ist ganz eclatant.

Man kann wohl hieraus den Schluss ziehen, dass unter denjenigen Factoren, welche auf die Arterienspannung Einfluss üben, bei gesunden Personen der Blutdruck einen verhältnissmässig nahezu constanten Werth besitzt, während die übrigen Bedingungen, welche sich auf die Arterienwandungen, die Blutfüllung, die peripherischen Widerstände etc. beziehen, sehr grossen Schwankungen unterworfen sind. Die relativ geringen Schwankungen des Blutdrucks gesunder Personen hängen von der Grösse des Individuums, wahrscheinlich auch von seinem Körpergewicht und noch manchen anderen erst noch zu erforschenden Umständen ab.

Von grossem Interesse ist die Vergleichung der Arterienwandspannung bei Gesunden und Kranken. In den acht Fällen von Lungenerkrankung (No. 9—16) beobachten

wir höchst auffällig geringe Werthe für die Arterienwandspannung: in einem Falle nur 7 Gramm, in einem 42, in 4 anderen zwischen 69 und 78 und nur zweimal 112 und 114 Grm. Von den erwachsenen gesunden Personen dagegen war die Wandspannung nur einmal = 67 Grm., einmal 133 Grm., bei den übrigen 227, 253 uud 307 Grm.

Ich habe schon früher (vgl. p. 111) constatirt, dass bei den Phthisikern die gesammte Arterienspannung meistentheils vermindert ist. Aus unserer letzten Tabelle erfahren wir nun, dass derjenige Antheil der Arterienspannung, welcher auf Rechnung des Blutdrucks kommt. in weit geringerem Grade herabgesetzt wird, als derjenige, welcher sich auf die Arterienwandspannung bezieht. Die Herabminderung der letzteren kann eine ganz enorme sein, wie No. 14 zeigt, wo dieselbe auf 7 Grm. gesunken ist. Diese starke Herabsetzung der Arterienwandspannung wird einerseits durch die Schlaffheit der Arterienwandung und der sie bedeckenden Weichtheile, andererseits aber ganz besonders durch die geringe Blutfüllung der Arterien und Capillaren — mit anderen Worten, durch die Anämie — herbeigeführt.

Der grosse Spielraum, in welchem sich die Arterienwandspannung bewegt, gegenüber den engen Grenzen der Blutdruckschwankungen, macht es zugleich erklärlich, wie sehr leicht Veränderungen des Blutdrucks nach oben oder unten übercompensirt werden können durch entgegengesetztes Verhalten der Arterienwandspannung. Nimmt beispielsweise bei irgend einem Experiment der Blutdruck um ein weniges ab, so vermindert sich auch die Arterienspannung um so viel, als der vom Blutdruck abhängige Spannungsantheil beträgt; da die Verminderung dieses Antheils aber nur eine geringe ist, so kann das Endresultat sehr leicht ganz entgegengesetzt zu einer Spannungserhöhung führen, wenn gleichzeitig Momente vorhanden sind, welche die Arterienwandspannung steigern und zwar in höherem Masse steigern, als die Blutdruck-

spannung sich vermindert. Solche, die Arterienwandspannung steigernde Momente haben wir bereits in einer vermehrten Füllung der Arterien und Vermehrung der peripheren Widerstände in den Capillaren und Venen kennen gelernt.

Hierbei ist noch vor einer Verwechslung zu warnen, die leider sehr häufig gemacht wird und bereits zu mancherlei falschen Schlussfolgerungen auf verschiedenen Gebieten der Pathologie — ich erwähne hier nur das Verhältniss der Herzhypertrophie zu Nierenkrankheiten — geführt hat: ich meine die Verwechslung von Blutdruck κατ᾽ ἐξοχήν und Gesammtdruck im Aortensystem. Der Gesammtdruck ist das Product von Blutdruck und Blutfülle, resp. mittlerem Blutdruck und Arterieninhalt. Der mittlere Blutdruck kann sinken, und dennoch kann die Gesammtspannung in den Arterien erhöht sein, wenn sich die Blutfülle in grösserem Verhältniss vermehrt, resp. die Gefässe sich in höherem Grade erweitert haben, als der mittlere Druck gesunken ist. Wenn z. B. bei künstlich erzeugter Nephritis eines Thieres der Blutdruck nicht erhöht gefunden wird, so ist es ein Fehler, daraus den Schluss zu ziehen, dass nicht dennoch das Herz möglicherweise eine grössere Arbeit zu leisten hätte. Nehmen wir an, dass in Folge des Experiments resp. der erzeugten Krankheit zugleich das Blutbett in den Arterien sich erweitert hat, so kann der Blutdruck immerhin sich gleich geblieben sein oder sogar sich etwas verringert haben, das Herz hat dennoch eine grössere Arbeit als zuvor zu leisten, indem es ein grösseres Blutquantum als zuvor auf dem normalen Drucke zu erhalten hat. Das Herz hat hier eine grössere mechanische Leistung auszuführen, trotzdem der Blutdruck dies nicht anzeigt, und in Folge der erhöhten mechanischen Leistung gelangt es zur Hypertrophie. Die Traube'sche Theorie, welche die Hypertrophie des Herzens bei Nephritis anf erhöhte mechanische Leistung zurückführt, ist demnach keineswegs, wie einige Autoren meinen, durch die Blutdruckexperimente abgethan. Ich verzichte, weiter auf diesen Gegenstand einzugehen,

weil er mich zu weit abseits von meiner eigentlichen Aufgabe führen würde.

Ich erwähne nur noch, dass dieselben Erwägungen auch auf die falschen Schlussfolgerungen, welche aus Thierexperimenten über die Wirkung der comprimirten und verdünnten Luft auf den Kreislauf gezogen worden sind, ihre Anwendung finden. Ich habe bereits oben p. 146 darauf hingewiesen und will mich auch hier mit dieser kurzen Andeutung begnügen.

Für den Gesammtdruck im Aortensystem giebt die Arterienspannung ein vorzügliches und, wie wir sehen, sehr empfindliches Mass ab. Alle Factoren, durch deren Erhöhung der Gesammtdruck gesteigert wird, erhöhen auch die Spannung, und umgekehrt. In diesem Sinne wirken zum Zustandekommen des Gesammtdrucks einerseits und der Spannung andererseits vor allem der mittlere Blutdruck, die Herzkraft, die Blutfülle und die peripherischen Widerstände. Deshalb darf man aus einer Steigerung der Arterienspannung auf eine Erhöhung des Gesammtdrucks im Aortensystem schliessen; dagegen aus einer blossen Steigerung des Blutdrucks für sich allein kann eine Steigerung des Gesammtdrucks noch nicht erschlossen werden.

Hiermit ist die grosse Bedeutung, welche der Arterienspannung an sich, unabhängig vom Blutdruck, zukommt, dargelegt. In der Pathologie und Diagnostik war ihre Bedeutung nie verkannt worden. Bei den Thierexperimenten konnte sie dagegen niemals in Frage kommen, weil es an Mitteln fehlte, sie zu messen. Man glaubte sie entbehren zu können, da man den Blutdruck der Thiere zu messen im Stande war. Das Messen des Blutdrucks kann aber, wie ich gezeigt zu haben glaube, nicht im mindesten die Beobachtung oder Messung der Arterienspannung ersetzen. Beide Methoden müssen gemeinsam geübt werden, sowohl die Messung des Blutdrucks wie die der Arterienspannung: beide ergänzen einander, keine von beiden macht die andere überflüssig.

VI. Die angebliche Blutdruckmessung nach Marey.

Am 18. November 1878 überreichte Marey der Academie der Wissenschaften in Paris eine Denkschrift, betitelt: Moyen de mesurer la valeur manométrique de la pression du sang chez l'homme[1]). Nachdem er die bisherigen vergeblichen Bemühungen, den Blutdruck am Menschen zu messen, hervorgehoben, erwähnt er zunächst eines von ihm schon im Jahre 1856 gemachten Versuchs, welcher in folgender Vorrichtung bestand: Es wurde der Vorderarm nebst der Hand luftdicht in eine metallene Hülse, welche eine Glaseinlage zur Besichtigung der Haut freiliess, eingeschlossen, und die Luft in derselben comprimirt. Bei einem gewissen Grade der Compression, 120 bis 150 Mm. Hg., wurde die Haut blass, verminderte sich an Volumen und verlor ihre Sensibilität; der Kranke fühlte die Pulsationen seiner Arterien verschwinden, die er zuerst deutlich wahrgenommen. Verminderte man die Compression um einige Millimeter, „so trat das Blut sofort in das Glied wieder ein, und der Patient hatte die Empfindung eines heissen Gusses (ondée), welcher seine Gewebe durchdrang.“ Marey fügt hinzu: „La valeur manométrique de la pression du sang était donc obtenue déjà d'une manière assez satisfaisante.“

Marey wurde später davon abgezogen, diesen Versuch weiter zu verfolgen und hat erst in neuster Zeit denselben nach einer viel vollkommneren Methode wieder aufgenommen. Er benutzt anstatt der comprimirten Luft Wasser, welches unter einen allmälig ansteigenden Druck gesetzt wird. Der Apparat, in wel-

---

[1]) Comptes rendus. Bd. 84. p. 771. — Ein vollkommen gleichlautender Bericht findet sich auch in der Gaz. méd. No. 48. 1878. — Der Wortlaut des Berichts ist vom Verf. selbst eingereicht: denn es ist an beiden Quellen bemerkt: Extrait par l'auteur. — Vergl. ferner Marey's neuestes Werk: La méthode graphique dans les sciences expérimentales et particulièrement en physiologie et en médecine. Paris 1878. Masson. pag. 610 ff.

chen der Vorderarm und die Hand aufgenommen wurden, war zuerst ähnlich dem Mosso'schen Plethysmographen; später machte er ihn weniger umfänglich und nur zur Aufnahme eines Fingers dienend. Die Wassersäule zeigt, wie im Plethysmograph Pulsationen, die bei zunehmendem Druck anfangs stärker werden (genau so wie in meinen Versuchen bei zunehmender Belastung), dann sich vermindern und bei einem bestimmten Drucke verschwinden.

Der Druck, bei welchem die Pulsation verschwindet, ist nach Marey identisch mit dem Blutdruck. Er fand denselben innerhalb enorm weiter Grenzen schwankend. „Bei gewissen adynamischen Fiebern kann der Blutdruck („la pression du sang") auf 30 Mm. sinken, während er über 200 Mm. bei der interstitiellen Nephritis sich steigert. Zwischen diesen beiden Punkten, welche vielleicht noch nicht die äussersten Grenzen der möglichen Variationen darbieten, ist Raum für viele mittlere Grade, welche den Arzt weit besser als die Tastempfindungen, mit denen er sich bisher begnügen musste, unterrichten werden."

So weit Marey.

Ohne im mindesten die Bedeutung bestreiten oder auch nur abschwächen zu wollen, welche diese Untersuchungsmethode, wenn sie nach richtigen Gesichtspunkten betrachtet und im Sinne derselben weiter geprüft und verfolgt würde, für die medicinische Diagnostik haben könnte, muss ich zunächst einen Cardinalpunkt hervorheben und richtig stellen: was Marey misst, ist nicht der arterielle Blutdruck.

Marey's erster Versuch vom Jahre 1856 misst, und zwar nach einer höchst unsicheren Methode, nicht den Blutdruck der grösseren Arterien, sondern die Spannung der kleinsten Arterien und Capillaren der Haut sowie des unter der Haut liegenden Gewebes bis zu einer nicht genau festzustellenden Tiefe. Die Methode ist deshalb durchaus unsicher, weil sie nur ein einziges und zwar sehr ungenaues objectives Merkmal der voll-

endeten Messung in der Entfärbung der Haut besitzt, im übrigen nur auf die subjectiven Empfindungen des Kranken, Verlust an Sensibilität, Gefühl des Aufhörens der Pulsationen und des zurückkehrenden Blutstroms, sich verlässt. Man ist nicht sicher, wie weit über die Hautcapillaren hinaus sich überhaupt der Druck erstreckt hat.

Den Druck in den Capillaren der menschlichen Haut mass in neuerer Zeit bekanntlich v. Kries[1]) unter Ludwig's Leitung. Auch sein Verfahren bestand darin, das Blasswerden der Haut unter einem bestimmten Drucke mittelst Auflegen eines Glasplättchens, welches allmälig mehr und mehr durch Gewichte belastet wurde, zu beobachten. Aber v. Kries überschreitet nicht das Mass seiner Schlussfolgerung; denn er bezieht die von ihm gefundenen Werthe nicht auf den Blutdruck im allgemeinen, sondern nur auf den Druck in den Blutcapillaren; auch hier hiesse es richtiger: Spannung der Capillaren, d. h. Blutdruck innerhalb der Capillaren plus Wandspannung der Capillaren nebst Umhüllung. Aber v. Kries kannte doch das Moment des Epidermiswiderstandes; er glaubte nur, dass derselbe nicht erheblich genug sei, um das Ergebniss zu stören.

Betrachten wir nun Marey's neuste angebliche Blutdruckmessung, so ist die Methode viel vollkommner als die erste; denn an die Stelle der subjectiven Empfindungen des zu untersuchenden Individuums ist ein objectives Merkmal, das Aufhören der Pulsation bei einem gewissen Drucke, getreten. Aber auch hier ist Marey im Irrthum, wenn er den arteriellen Blutdruck zu messen vermeint; er misst auch hier nur einzig und allein die Spannung der oberflächlich liegenden kleinsten Arterien. Zumal wenn nur ein Finger in den Apparat eingetaucht wird, handelt es sich ja überhaupt nur um Arterien des kleinsten Kalibers, in welchen der ursprüngliche arterielle Blutdruck bereits auf einen Bruchtheil

---

[1]) Arbeiten aus der physiologischen Anstalt zu Leipzig. 1875.

herabgesetzt ist, und auch hier nur um die oberflächlich liegenden Gefässe; denn die in einer gewissen Tiefe liegenden Arterien sind gegen den Druck geschützt. Man bedenke, einen wie beträchtlichen mechanischen Druck man aufzuwenden hat, um beispielsweise die tieferen Arterien der Hand bei Blutungen zu comprimiren, einen Druck, der um das mehrfache die von Marey gefundenen Masse übertrifft. Nicht nur die Arterienwandung selbst, sondern, wie ich früher ausführte, auch die umliegenden Weichtheile setzen das zusammen, was ich Arterienwandspannung genannt habe. Diese Arterienwandspannung wächst sehr erheblich mit der Dicke der Weichtheile, welche zwischen der zu comprimirenden Arterie und der Oberfläche der Haut liegen, und bei den tiefer liegenden Arterien ist dieselbe so bedeutend, dass um sie zu überwinden, ein Druck erforderlich ist, der dem mehrfachen des Blutdrucks gleich kommt.

Man werfe nur einen Blick auf meine Tabelle (p. 235) und vergleiche die Wandspannung der Art. radialis, eines relativ oberflächlich gelegenen Gefässes, und man wird finden, dass selbst diese schon in manchen Fällen den auf den Blutdruck fallenden Antheil der Arterienspannung um ein mehrfaches übertrifft. Beispielsweise in No. 1 der Tabelle ist die gesammte Arterienspannung = 336, davon kommen 109 auf den Blutdruck, 227 auf die Wandspannung, letztere ist also mehr als doppelt so gross als der Blutdruck, der Gesammtdruck mehr als 3 mal so gross als der letztere. In einem anderen Beispiel No. 6 ist die gesammte Arterienspannung = 284, die Blutdruckspannung = 83, die Wandspannung = 201, folglich übertrifft die Gesammtspannung den Blutdruck um 342 pCt., die Wandspannung den Blutdruck um 242 pCt.

Ist nun die Wandspannung bei einer der Haut so nahe liegenden Arterie schon so beträchtlich, wie bedeutend stärker muss dann die Resistenz der tiefer liegenden Arterien sein? Während der Finger die Art. radialis auf's bequemste zu comprimiren vermag, ist dies für die ganz in der Tiefe gelegenen

Arterien überhaupt nicht mehr möglich, und was der Fingerdruck nicht kann, vermag erst recht nicht eine Wassersäule von 30—200 Mm. Quecksilberdruck zu leisten.

Bezögen sich Marey's Messungen thatsächlich auf den Blutdruck, so wäre es zu verwundern, wie Menschen unter Umständen den Druck von mehreren Atmosphären zu ertragen im Stande wären, und dass sie selbst nicht schon einen Ueberdruck von ½ Atmosphäre mit dem Leben bezahlten!

Nein, die Wassersäule, aequivalent 30—200 Mm. Hg., sistirt nicht den Blutdruck in dem unter dem Wasser befindlichen Gliede, sondern comprimirt nur die oberflächlichen Capillaren und Venen und wohl auch noch die kleinsten, ganz oberflächlich gelegenen Arterien. Die grösseren und namentlich die tiefer liegenden Arterien setzen durch ihre Wandspannung (nebst umhüllender Weichtheilspannung) dem äusseren Druck einen Widerstand entgegen, der unter Umständen selbst mehreren Atmosphären das Gleichgewicht hält. Dies ist die grosse Bedeutung der Arterienwandspannung in dem thierischen und menschlichen Körperhaushalt; ohne den Schutz, welchen sie gewährt, wäre der menschliche Organismus schon bei geringen Druckänderungen dem Untergang ausgesetzt.

Durch Marey's Schriften zieht sich wie ein rother Faden die Verwechselung des Blutdrucks mit der Arterienspannung. Ich will dies nur an einigen Bemerkungen, die sich in der erwähnten, an die Academie der Wissenschaften gerichteten Denkschrift finden, zu beweisen suchen:

Gleich der Anfang dieses Memoire spricht jene Verwechselung in dürren Worten aus. Ich lasse denselben wörtlich folgen:

„Les médecins ont depuis longtemps constaté que les artères humaines présentent une certaine consistance, qui les fait paraître tantôt dures, tantôt molles sous le doigt qui les presse. Parmi les désignations bizarres des caractères du pouls, on trouve, dans les anciens Traités de Médecine, celles de pouls mou et de pouls dur. Le temps a respecté ces deux expres-

sions, parce qu'elles correspondent à une chose réelle: elles traduisent le degré de distension de vaisseaux par le sang, ce que nous appelons aujourd'hui la pression du sang dans les artères."

Marey sagt hier also wörtlich, die Spannung der Arterie, d. h. das, was die Aerzte einen harten und weichen Puls nennen, sei identisch mit dem arteriellen Blutdruck.

Sodann behauptet er vom Sphygmographen, dass derselbe die geringsten Variationen „des arteriellen Druckes" sichtbar macht. Hier bedient sich Marey zwar nicht des Wortes „Blutdruck"; aber dass er diesen unter „pression artérielle" versteht, ist aus dem ganzen kaum zu bezweifeln. Auch hier müsste es heissen anstatt „arteriellen Druckes": Arterienspannung.

Ein anderer Passus ist bereits oben wörtlich citirt (p. 250).

Was Marey eigentlich misst, ist also nicht der Blutdruck, sondern die Spannung der kleinsten Arterien und Capillaren. Er misst mittelst seines Manometers an den kleinsten Gefässen die Spannung, welche ich an der Radialis seit 1877 mittelst der Pulsuhr messen lehrte. Ueber die Spannungsmessung — und zwar nicht einmal an genau zu präcisirenden Arterien —, ist Marey nicht hinausgekommen, während ich selbst in der vorliegenden Arbeit thatsächlich zum Messen des Blutdrucks in der Arteria radialis gelangt bin.

Marey's Zahlen, die er fälschlich auf den Blutdruck bezieht, die aber nur die Spannung der kleinsten Gefässe anzeigen, sind viel kleiner als die von mir gefundenen Spannungswerthe, wenn ich dieselben in Manometerdruck, was ja sehr bequem ist, umrechne.

Nehme ich als Beispiel No. 1 meiner Tabelle (p. 235), so beträgt hier der Blutdruck 200 Mm. Hg., der ihm entsprechende Spannungsantheil ist = 109 Grm. Die Gesammtspannung dagegen betrug 336 Grm. Rechnen wir auch diese in Manometerdruck um, so ist dieselbe = 617 Mm. Hg.

In No. 3 ist der Blutdruck = 268 Mm. Hg., entsprechend

135 Grm., während die Gesammtspannung 442 Grm. beträgt. Diese letztere, in Barometerdruck umgerechnet, ergiebt einen Werth von 877 Mm. Hg.

Die grosse Differenz zwischen den von Marey gefundenen Zahlen und den meinigen rührt eben davon her, dass Marey nur die Spannung der oberflächlichsten und kleinsten Arterien gemessen hat, deren Wandspannung einerseits wegen der Dünnheit derselben und der geringen Hautdecke erheblich niedriger ist als in den grösseren Arterien, und in denen andererseits auch der Blutdruck bereits sehr erheblich herabgesetzt ist.

Marey's Zahlen stehen viel näher den von v. Kries für den Druck in den Capillaren gewonnenen Werthen. v. Kries fand den Druck in den Capillaren, oder, sagen wir besser, die Capillarspannung, je nachdem die Hand erhoben oder gesenkt war, zwischen 328 Mm. und 738 Mm. Wasserdruck schwanken, d. i. zwischen 24 und 54 Mm. Hg.

Anknüpfend an v. Kries haben Roy und Graham Brown[1]) den „Blutdruck" — auch hier heisst es richtiger die Spannung — in den kleinsten Arterien, Venen und Capillaren durchsichtiger Häute bei Thieren, namentlich in der Schwimmhaut des Frosches, gemessen. Sie bedienten sich eines Wassermanometers, welches durch einen Schlauch mit einer durch eine sehr feine thierische Membran verschlossenen Kapsel, die der auf dem Objectisch des Mikroskops ausgespannten Schwimmhaut (resp. anderen durchsichtigen Häuten lebender Thiere) anfruhte, in Verbindung stand. Durch Drucksteigerung im Manometer wurde die Luft in der Kapsel in einem beliebigen Grade comprimirt, und man konnte unter dem Mikroskop betrachten, bei welchem Drucke die Blutcirculation in den Capillaren, Venen und kleinen Arterien stockte resp. sistirte. Die Stockung des Blutlaufs machte sich zuerst in den Capillaren und Venen geltend, etwa bei einem Drucke

---

[1]) Mittheilung des Herrn Prof. Kronecker in der Berliner physiogischen Gesellschaft am 15. Febr. 1878.

von 100—150 Mm. Wasser; erst bei einem höheren Drucke von 200—350 Mm. Wasser stockte er auch in den kleinsten Arterien. 200—350 Mm. Wasserdruck entsprechen 15—26 Mm. Quecksilberdruck.

Also in den kleinsten Arterien der Schwimmhaut des Frosches, bei so dünner Membran, dass sie zur mikroskopischen Untersuchung durchsichtig genug erschien, betrug die Spannung noch bis zu 26 Mm. Hg. Und Marey will den Blutdruck am Menschen — freilich „bei gewissen adynamischen Fiebern" — auf 30 Mm. Hg. bestimmt haben! Es sind hier eben auch nur die dünnsten Arterien, deren Lumen dasjenige der Arterien der Froschschwimmhaut nicht überschreitet, ja wahrscheinlich noch enger ist, deren Spannung Marey mass — und daher resultirt die nahe Uebereinstimmung der gefundenen Werthe.

Wenn wir Marey's angebliche Blutdruckmessung auf ihre wahre Bedeutung zurückführen, so erklärt sich auch der grosse Spielraum, in welchem sich die von ihm gefundenen Zahlen bewegen. Er fand dieselben zwischen 30 und 200 Mm. Hg. schwankend und glaubt, dass hiermit noch nicht die äussersten Grenzen nach beiden Richtungen hin erreicht sind.

Nach meinen oben mitgetheilten Messungen sind die Schwankungen des Blutdrucks keineswegs sehr erheblich (vergl. p. 245); dagegen differiren die Werthe für die Arterienspannung in der That innerhalb eines sehr weiten Spielraums. Hier harmonirt demnach der Befund von Marey bezüglich der Spannung der kleinsten Arterien und Capillaren mit meinen Beobachtungen betreffend die Spannung der Arteria radialis.

Der gleichen Verwechslung von Blutdruck und Arterienspannung begegnen wir leider nicht bei Marey allein, sondern auch bei vielen anderen, auch deutschen namhaften Autoren, und was das schlimmste ist, es sind von einigen weitgehende Schlussfolgerungen aus manchen Beobachtungen gezogen worden, denen diese irrthümliche Auffassung als Grundlage gedient hat.

Durch die Analyse der einzelnen Componenten der Arterienspannung und ihres Verhaltens zum Blutdruck auf Grund der von mir ausgeführten und oben mitgetheilten Experimente, hoffe ich, soll für künftighin eine gleiche Verwechslung beider Begriffe definitiv unmöglich gemacht sein.

Zur Ergänzung.

Auf pag. 203 ist hinzuzufügen:

$$\text{Blutwechsel-Coefficient} = \frac{60 \cdot 40}{84} = 28{,}5 \text{ Secunden;}$$

desgleichen auf pag. 207:

$$\text{Blutwechsel-Coefficient} = \frac{60 \cdot 36}{78} = 28 \text{ Secunden.}$$



Gedruckt bei L. Schumacher in Berlin.